



**Ricardo José
Teixeira Ferreira**

**Avaliação da Capacidade na Rede Ferroviária
Portuguesa**



**Ricardo José
Teixeira Ferreira**

**Avaliação da Capacidade na Rede Ferroviária
Portuguesa**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica do Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e coorientação do Doutor Agostinho António Rocha Correia e Almeida da Benta, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

o júri

presidente

Prof.^a Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Professora Associada do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Silvino Dias Capitão
Professor Coordenador do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Prof. Doutor Agostinho António Rocha Correia e Almeida da Benta
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar ao Prof. Doutor Joaquim Macedo, meu orientador, pelo apoio, incentivo, disponibilidade e conselhos, assim como pela confiança depositada no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Doutor Agostinho Benta, meu coorientador, estou grato pela cooperação, estímulo, ensinamentos e amizade partilhada durante a realização desta dissertação.

À CP CARGA, nas pessoas da Dr.^a Ana Barros e do Dr. Paulo Niza, pela disponibilização dos horários relativos aos comboios de mercadorias, pela vontade em ajudar demonstrada e pela enorme simpatia.

À REFER, na pessoa do Engenheiro Paulo Rocha, pela disponibilização de informações relativas à infraestrutura ferroviária e operacionalidade da mesma. Um agradecimento também pela disponibilidade, vontade em ajudar e interesse pelo tema desenvolvido nesta dissertação.

Aos meus colegas e amigos de curso, pela amizade, confiança e apoio ao longo de todo o meu percurso académico.

Um agradecimento muito especial à minha namorada, Bruna Novo, pelo amor, paciência e confiança sempre presentes, sem os quais não seria possível superar os momentos menos bons de toda esta etapa.

À minha tia Manuela Teixeira pela amizade, carinho e apoio em todo o meu percurso escolar.

Aos meus pais, Rosa e Rogério Ferreira, e ao meu irmão, Rogério, pela confiança nas minhas capacidades, pelo afeto, dedicação e incondicional disponibilidade, sem os quais não teria atingido o final deste mestrado.

palavras-chave

Rede ferroviária, avaliação da capacidade, UIC 406, caracterização da infraestrutura ferroviária, caracterização do material circulante.

resumo

Tendo em conta a escassez de combustíveis fósseis e o aumento do custo destes, torna-se importante o estudo e desenvolvimento de alternativas ao transporte rodoviário. O transporte ferroviário surge, assim, como uma possível opção.

Esta dissertação apresenta os diferentes tipos de capacidade de uma rede ferroviária, os fatores que a influenciam e métodos de obtenção da mesma. Em relação aos métodos de obtenção da capacidade, esta dissertação foca-se especialmente no método UIC 406, que é sugerido pela União Internacional dos Caminhos de Ferro, sendo apresentada a metodologia e demonstrada através dos três estudos de caso efetuados (Linha do Norte entre Aveiro e Porto, Ramal do Porto de Aveiro e Linha do Vouga).

Este estudo permitiu avaliar o grau de uso destas linhas e a sua capacidade para operar mais comboios com valores de pontualidade satisfatórios. Os estudos de caso têm também como objetivo a determinação dos troços mais congestionados das linhas estudadas. Com os resultados obtidos foi possível concluir que a capacidade nas linhas analisadas não se encontram esgotadas, no entanto os troços Gaia – Granja e Granja – Ovar apresentam valores elevados de capacidade usada.

Além do estudo da capacidade, foi também feito um levantamento das características da infraestrutura ferroviária existente, bem como do material circulante atual.

keywords

Railroad network, capacity assessment, UIC 406, railway infrastructure characterization, rolling stock characterization.

abstract

Having in mind the lack of fossil fuels and its increasing price, it becomes important to study alternative methods of transportation. The railroad transportation emerges as a good option.

This dissertation presents the different types of capacity, factors of influence and methods for obtaining its value.

Regarding to the methods for obtaining the capacity, this dissertation focuses especially in the UIC 406 method, which is suggested by the International Union of Railways. The methodology is presented as well as demonstrated through three study cases (Linha do Norte between Aveiro and Porto, Ramal do Porto de Aveiro and Linha do Vouga).

This study provided the possibility to evaluate the rate of use of these lines and its capacity to operate more trains with satisfactory values of punctuality. The study cases also have the objective to determine the most congested sections of the studied lines. With the obtained results, it's possible to conclude that the capacity in the studied lines is not exhausted, however the sections Gaia – Granja and Granja – Ovar show high values of used capacity.

Besides the study of capacity, this dissertation presents also the Portuguese railway infrastructure and its main features and the current rolling stock.

Índice

Índice	I
Índice de Figuras	III
Índice de Tabelas	VII
1. Introdução	1
1.1. História dos caminhos-de-ferro em Portugal	1
1.2. Motivação	5
1.3. Objetivos	5
1.4. Estratégia	6
1.5. Estrutura da dissertação	6
2. Capacidade de redes ferroviárias	8
2.1. Fatores que influenciam a capacidade	10
2.2. Métodos de determinação da capacidade de redes	13
2.3. Método UIC 406	15
3. Rede Ferroviária Portuguesa	21
3.1. Características Físicas	23
3.2. Sistemas de Segurança e Controlo de Velocidade	25
3.3. Material circulante em Portugal	28
4. Estudos de Caso	30
4.1. Estudo de Caso nº1: Linha do Norte	31
4.2. Estudo de Caso nº 2: Ramal do Porto de Aveiro	60
4.3. Estudo de Caso nº 3: Linha do Vouga	64
5. Análise dos resultados, discussão e conclusões	75
5.1. Estudo de Caso nº1: Linha do Norte	75
5.2. Estudo de Caso nº2: Ramal do Porto de Aveiro	75
5.3. Estudo de Caso nº3: Linha do Vouga	76
5.4. Conclusões	76
5.5. Propostas de trabalhos futuros	77
6. Referências bibliográficas	79

Índice de Figuras

Figura 1. Plano da Rede Unificada Portuguesa em 1952 (CP, 2013).....	3
Figura 2. Diferentes conceitos de capacidade (Adaptado de Abril <i>et al.</i> , 2007).....	9
Figura 3. Sinais luminosos em vias-férreas (Abril <i>et al.</i> , 2007).....	10
Figura 4. Atrasos por comboio Vs. Aumento de comboios em circulação (Adaptado de Abril <i>et al.</i> , 2007).....	13
Figura 5. Compressão dos horários segundo o método UIC 406 (Adaptado de Landex, 2008).....	15
Figura 6. Tempo de ocupação de um cantão por um comboio (Adaptado de Landex, 2008).....	16
Figura 7. Divisão da rede em troços (Adaptado de Landex, 2008).....	17
Figura 8. Ocupação de uma linha simples por comboios nos dois sentidos (Adaptado de Landex, 2008).....	17
Figura 9. Capacidade de uma secção Vs. Capacidade da linha (Adaptado de Landex, 2008).....	18
Figura 10. Capacidade usada entre duas estações (Fialho, 2013).....	18
Figura 11. Rede ferroviária portuguesa (Adaptado de REFER, 2014).....	22
Figura 12. Tipos de Gabarito (REFER, 2014).....	24
Figura 13. Distribuição dos tipos de comboios ao longo do dia entre Porto (Campanhã) e Gaia (Devesas).....	35
Figura 14. Percentagem dos tipos de comboios entre Porto (Campanhã) e Gaia (Devesas).....	35
Figura 15. Distribuição dos tipos de comboio ao longo do dia entre Gaia (Devesas) e Granja.....	36
Figura 16. Percentagem dos tipos de comboios entre Gaia (Devesas) e Granja.....	36
Figura 17. Distribuição dos tipos de comboios ao longo do dia entre Granja e Ovar.....	38
Figura 18. Percentagem dos tipos de comboios entre Granja e Ovar.....	38
Figura 19. Distribuição dos tipos de comboios ao longo do dia entre Ovar e Aveiro.....	39
Figura 20. Percentagem dos tipos de comboios entre Ovar e Aveiro.....	39
Figura 21. Diagrama espaço-tempo entre Gaia (Devesas) e Porto (Campanhã).....	42
Figura 22. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Gaia (Devesas) e Porto (Campanhã).....	42
Figura 23. Diagrama espaço-tempo entre Porto (Campanhã) e Gaia (Devesas).....	44
Figura 24. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Porto (Campanhã) e Gaia (Devesas).....	45
Figura 25. Diagrama espaço-tempo entre Granja e Gaia (Devesas).....	46
Figura 26. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Granja e Gaia (Devesas).....	47
Figura 27. Diagrama espaço-tempo entre Gaia (Devesas) e Granja.....	48
Figura 28. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Gaia (Devesas) e Granja.....	49
Figura 29. Diagrama espaço-tempo entre Ovar e Granja.....	50
Figura 30. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Ovar e Granja.....	51
Figura 31. Diagrama espaço-tempo entre Granja e Ovar.....	52
Figura 32. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Granja e Ovar.....	53
Figura 33. Diagrama espaço-tempo entre Aveiro e Ovar.....	54

Figura 34. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Aveiro e Ovar	54
Figura 35. Diagrama espaço-tempo entre Ovar e Aveiro	56
Figura 36. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Ovar e Aveiro	56
Figura 37. Diagrama da capacidade usada nas horas de ponta na Linha do Norte	59
Figura 38. Diagrama da capacidade usada em 24h na Linha do Norte	59
Figura 39. Diagrama espaço-tempo do Ramal do Porto de Aveiro.....	62
Figura 40. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido do Ramal do Porto de Aveiro	63
Figura 41. Diagrama espaço-tempo entre Aveiro e Eixo	67
Figura 42. Diagrama espaço-tempo do horário comprimido entre Aveiro e Eixo	68
Figura 43. Diagrama espaço-tempo entre Macinhata e Águeda.....	70
Figura 44. Diagrama espaço-tempo do horário comprimido entre Macinhata e Águeda.....	70
Figura 45. Diagrama espaço-tempo entre Oliveira de Azeméis e S. João da Madeira.....	73
Figura 46. Diagrama espaço-tempo do horário comprimido entre Oliveira de Azeméis e S. João da Madeira.....	73
Figura 47. Tipologia das vias	84
Figura 48. Contornos de referência	85
Figura 49. Cargas máximas	86
Figura 50. Troços de linha eletrificada.....	87
Figura 51. Patamares de velocidade máxima	88
Figura 52. Tipos de comando	89
Figura 53. Sistemas de controlo de velocidade	90
Figura 54. Rádio solo-comboio	91
Figura 55. Automotoras Série 0350 em Serpins (Wikipédia, 2014)	94
Figura 56. Automotoras Série 0450 (ao centro e à direita) e Série 3400 (à esquerda) em Contumil (Porto)	95
Figura 57. Automotora série 9600 na Linha do Vouga	95
Figura 58. Automotora Série 2400 em Sintra (Wikipédia, 2014)	96
Figura 59. Automotora Série 3150 na Linha de Cascais (Wikipédia,2014).....	96
Figura 60. Automotora Série 3250 na Linha de Cascais (Wikipédia, 2014).....	97
Figura 61. Automotora Série 2240 na Linha do Norte	97
Figura 62. Automotora Série 3400 na Linha do Norte	98
Figura 63. Automotora Série 3500 em Corroios (Wikipédia, 2014).....	98
Figura 64. Automotora Série 2300 em Sete Rios (Wikipédia, 2014).....	99
Figura 65. Automotora Série 4000 na Linha do Norte	99
Figura 66. Locomotiva Série 1400 em Contumil (Porto).....	100
Figura 67. Locomotiva Série 1900 em Alcácer do Sal (Wikipédia, 2014)	100
Figura 68. Locomotiva Série 1960 no Ramal do Porto de Aveiro	101
Figura 69. Locomotiva Série 1930 em Évora (Wikipédia, 2014)	101
Figura 70. Locomotiva Série 5600 na Linha do Norte	102
Figura 71. Locomotivas Série 4700 na Linha do Norte	102
Figura 72. Locomotiva Série 6000 na Linha do Norte	103
Figura 73. Vagão da Série Tdgs (CP Carga,2014)	103
Figura 74. Vagão da Série Tadgs (CP Carga,2014)	104
Figura 75. Vagão da Série Gabs (CP Carga,2014)	104
Figura 76. Vagão da Série His (CP Carga,2014).....	105
Figura 77. Vagão da Série Hikks (CP Carga,2014).....	105
Figura 78. Vagão da Série Hccerrs (CP Carga,2014).....	106

Figura 79. Vagão da Série Kbs (CP Carga,2014).....	106
Figura 80. Vagão da Série Kls (CP Carga,2014).....	107
Figura 81. Vagão da Série Kbmms (CP Carga,2014).....	107
Figura 82. Vagão da Série Rgs (CP Carga,2014).....	108
Figura 83. Vagão da Série Regmms (CP Carga,2014).....	108
Figura 84. Vagão da Série Rlps (CP Carga,2014).....	109
Figura 85. Vagão da Série Ldks (CP Carga,2014).....	109
Figura 86. Vagão da Série Laekss (CP Carga,2014).....	110
Figura 87. Vagão da Série Lgs (CP Carga,2014).....	110
Figura 88. Vagão da Série Lgnss (CP Carga,2014).....	111
Figura 89. Vagão da Série Sgmms (CP Carga,2014).....	111
Figura 90. Vagão da Série Sgs (CP Carga,2014).....	112
Figura 91. Vagão da Série Sgnss (CP Carga,2014).....	112
Figura 92. Vagão da Série Sekss (CP Carga,2014).....	113
Figura 93. Vagão da Série Sggmrss (CP Carga,2014).....	113
Figura 94. Vagão da Série Ekkls (CP Carga,2014).....	114
Figura 95. Vagão da Série Ealos (CP Carga,2014).....	114
Figura 96. Vagão da Série Falls (CP Carga,2014).....	115
Figura 97. Vagão da Série Facs (CP Carga,2014).....	115
Figura 98. Vagão da Série Zaes (CP Carga,2014).....	116
Figura 99. Vagão da Série Us (CP Carga,2014).....	116
Figura 100. Vagão da Série Uaoos (CP Carga,2014).....	117
Figura 101. Diagrama espaço-tempo entre Eirol e Eixo	125
Figura 102. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Eirol e Eixo	125
Figura 103. Diagrama espaço-tempo entre Águeda e Eirol	127
Figura 104. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Águeda e Eirol	127
Figura 105. Diagrama espaço-tempo entre Sernada do Vouga e Macinhata.....	129
Figura 106. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Sernada do Vouga e Macinhata.....	129
Figura 107. Diagrama espaço-tempo entre Vila da Feira e S. João da Madeira	131
Figura 108. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Vila da Feira e S. João da Madeira.....	131
Figura 109. Diagrama espaço-tempo entre Paços de Brandão e Vila da Feira	133
Figura 110. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Paços de Brandão e Vila da Feira	133
Figura 111. Diagrama espaço-tempo entre Espinho (Vouga) e Paços de Brandão	135
Figura 112. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Espinho (Vouga) e Paços de Brandão	135

Índice de Tabelas

Tabela 1. Valores máximos de capacidade usada (UIC, 2004)	19
Tabela 2. Fatores de qualidade para a capacidade usada.....	20
Tabela 3. Extensão total da rede ferroviária portuguesa (INE,2013)	21
Tabela 4. Cargas máximas.....	25
Tabela 5. Comboios entre Aveiro e Porto (Campanhã)	33
Tabela 6. Comboios entre Porto (Campanhã) e Gaia (Devesas)	34
Tabela 7. Comboios entre Gaia (Devesas) e Granja.....	36
Tabela 8. Comboios entre Granja e Ovar	37
Tabela 9. Comboios entre Ovar e Aveiro	39
Tabela 10. Horário de comboios entre Gaia (Devesas) e Porto (Campanhã) nas horas de ponta.....	41
Tabela 11. Compressão do horário Gaia-Porto no sentido Sul – Norte	41
Tabela 12. Cálculo da capacidade entre Gaia e Porto no sentido Sul - Norte	43
Tabela 13. Horário de comboios entre Porto (Campanhã) e Gaia (Devesas) nas horas de ponta.....	43
Tabela 14. Compressão do horário Porto - Gaia no sentido Norte - Sul	44
Tabela 15. Cálculo da capacidade entre Porto e Gaia no sentido Norte - Sul	45
Tabela 16. Horário de comboios entre Granja e Gaia (Devesas) nas horas de ponta.....	45
Tabela 17. Compressão do horário Granja - Gaia no sentido Sul - Norte.....	46
Tabela 18. Cálculo da capacidade entre Granja e Gaia no sentido Sul - Norte.....	47
Tabela 19. Horário de comboios entre Gaia (Devesas) e Granja nas horas de ponta.....	47
Tabela 20. Compressão do horário Gaia - Granja no sentido Norte - Sul	48
Tabela 21. Cálculo da capacidade entre Gaia e Granja no sentido Norte - Sul.....	49
Tabela 22. Horário de comboios entre Ovar e Granja nas horas de ponta	49
Tabela 23. Compressão do horário Ovar - Granja no sentido Sul - Norte	50
Tabela 24. Cálculo da capacidade entre Ovar e Granja no sentido Sul - Norte	51
Tabela 25. Horário de comboios entre Granja e Ovar nas horas de ponta	51
Tabela 26. Compressão do horário Granja - Ovar no sentido Norte - Sul	52
Tabela 27. Cálculo da capacidade entre Granja e Ovar no sentido Norte - Sul	53
Tabela 28. Horário de comboios entre Aveiro e Ovar nas horas de ponta.....	53
Tabela 29. Compressão do horário Aveiro - Ovar no sentido Sul - Norte	54
Tabela 30. Cálculo da capacidade entre Aveiro e Ovar no sentido Sul - Norte	55
Tabela 31. Horário de comboios entre Ovar e Aveiro nas horas de ponta.....	55
Tabela 32. Compressão do horário Ovar - Aveiro no sentido Norte - Sul	55
Tabela 33. Cálculo da capacidade entre Ovar e Aveiro no sentido Norte - Sul	56
Tabela 34. Cálculo da capacidade para janela de tempo de 24 horas.....	57
Tabela 35. Capacidade usada nas horas de ponta entre Aveiro e Porto - Campanhã.....	58
Tabela 36. Capacidade usada em 24h entre Aveiro e Porto – Campanhã.....	58
Tabela 37. Capacidade usada para diferentes tempos entre comboios consecutivos	60
Tabela 38. Horário do Ramal do Porto de Aveiro.....	61
Tabela 39. Compressão do horário do Ramal do Porto de Aveiro	62
Tabela 40. Cálculo da capacidade para o Ramal do Porto de Aveiro	63
Tabela 41. Horário de comboios entre Aveiro e Águeda	65
Tabela 42. Horário de comboios entre Águeda e Aveiro	65
Tabela 43. Horário de comboios entre Aveiro e Eixo	66
Tabela 44. Compressão do horário entre Aveiro e Eixo.....	67
Tabela 45. Cálculo da capacidade usada entre Aveiro e Eixo.....	68

Tabela 46. Horário dos comboios entre Águeda e Sernada do Vouga	68
Tabela 47. Horário dos comboios entre Sernada do Vouga e Águeda	68
Tabela 48. Horário dos comboios entre Águeda e Macinhata	69
Tabela 49. Horário comprimido entre Águeda e Macinhata	69
Tabela 50. Cálculo da capacidade usada entre Macinhata e Águeda	70
Tabela 51. Horário dos comboios entre Oliveira de Azeméis e Espinho	71
Tabela 52. Horário dos comboios entre Espinho e Oliveira de Azeméis	71
Tabela 53. Horário dos comboios entre Oliveira de Azeméis e S. João da Madeira	72
Tabela 54. Horário comprimido entre Oliveira de Azeméis e S. João da Madeira	72
Tabela 55. Cálculo da capacidade usada entre Oliveira de Azeméis e S. João da Madeira	73
Tabela 56. Capacidade usada na Linha do Vouga	74
Tabela 57. Dados sobre Automotora Série 0350	94
Tabela 58. Dados sobre Automotora Série 0450	95
Tabela 59. Dados sobre Automotora Série 9600	95
Tabela 60. Dados sobre Automotora Série 2400	96
Tabela 61. Dados sobre Automotora Série 3150	96
Tabela 62. Dados sobre Automotora Série 3250	97
Tabela 63. Dados sobre Automotora Série 2240	97
Tabela 64. Dados sobre Automotora Série 3400	98
Tabela 65. Dados sobre Automotora Série 3500	98
Tabela 66. Dados sobre Automotora Série 2300	99
Tabela 67. Dados sobre Automotora Série 4000	99
Tabela 68. Dados sobre Locomotiva Série 1400	100
Tabela 69. Dados sobre Locomotiva Série 1900	100
Tabela 70. Dados sobre Locomotiva Série 1960	101
Tabela 71. Dados sobre Locomotiva Série 1930	101
Tabela 72. Dados sobre Locomotiva Série 5600	102
Tabela 73. Dados sobre Locomotiva Série 4700	102
Tabela 74. Dados sobre Locomotiva Série 6000	102
Tabela 75. Dados sobre o vagão Série Tdgs	103
Tabela 76. Dados sobre o vagão Série Tadgs	104
Tabela 77. Dados sobre o vagão Série Gabs	104
Tabela 78. Dados sobre o vagão Série His	105
Tabela 79. Dados sobre o vagão Série Hikks	105
Tabela 80. Dados sobre o vagão Série Hccerrrs	106
Tabela 81. Dados sobre o vagão Série Kbs	106
Tabela 82. Dados sobre o vagão Série Kls	107
Tabela 83. Dados sobre o vagão Série Kbmps	107
Tabela 84. Dados sobre o vagão Série Rgs	108
Tabela 85. Dados sobre o vagão Série Regmms	108
Tabela 86. Dados sobre o vagão Série Rlps	109
Tabela 87. Dados sobre o vagão Série Ldks	109
Tabela 88. Dados sobre o vagão Série Laaekss	110
Tabela 89. Dados sobre o vagão Série Lgs	110
Tabela 90. Dados sobre o vagão Série Lgnss	111
Tabela 91. Dados sobre o vagão Série Sgmms	111
Tabela 92. Dados sobre o vagão Série Sgs	112
Tabela 93. Dados sobre o vagão Série Sgnss	112
Tabela 94. Dados sobre o vagão Série Sekss	113

Tabela 95. Dados sobre o vagão Série Sggmrss	113
Tabela 96. Dados sobre o vagão Série Ekkls.....	114
Tabela 97. Dados sobre o vagão Série Ealos.....	114
Tabela 98. Dados sobre o vagão Série Falls	115
Tabela 99. Dados sobre o vagão Série Facs	115
Tabela 100. Dados sobre o vagão Série Zaes	116
Tabela 101. Dados sobre o vagão Série Us	116
Tabela 102. Dados sobre o vagão Série Uaoos	117
Tabela 103. Horário de comboios no sentido Aveiro - Porto (Campanhã)	120
Tabela 104. Horário de comboios no sentido Porto (Campanhã) - Aveiro	121
Tabela 105. Horário de comboios entre Eixo e Eirol	124
Tabela 106. Compressão do horário entre Eixo e Eirol.....	124
Tabela 107. Cálculo da capacidade entre Eirol e Eixo	125
Tabela 108. Horário de comboios entre Eirol e Águeda	126
Tabela 109. Compressão do horário entre Eirol e Águeda.....	126
Tabela 110. Cálculo da capacidade entre Águeda e Eirol	127
Tabela 111. Horário de comboios entre Macinhata e Sernada do Vouga	128
Tabela 112. Compressão do horário entre Macinhata e Sernada do Vouga.....	128
Tabela 113. Cálculo da capacidade entre Sernada do Vouga e Macinhata	130
Tabela 114. Horário de comboios entre S. João da Madeira e Vila da Feira	130
Tabela 115. Compressão do horário entre S. João da Madeira e Vila da Feira.....	130
Tabela 116. Cálculo da capacidade entre Vila da Feira e S. João da Madeira	131
Tabela 117. Horário de comboios entre Vila da Feira e Paços de Brandão	132
Tabela 118. Compressão do horário entre Vila da Feira e Paços de Brandão.....	132
Tabela 119. Cálculo da capacidade entre Paços de Brandão e Vila da Feira	133
Tabela 120. Horário de comboios entre Paços de Brandão e Espinho (Vouga).....	134
Tabela 121. Compressão do horário entre Paços de Brandão e Espinho (Vouga)	134
Tabela 122. Cálculo da capacidade entre Espinho (Vouga) e Paços de Brandão	135

1. INTRODUÇÃO

1.1. História dos caminhos-de-ferro em Portugal

O uso de transporte sobre carris, no final do século XVII, era realizado sobre carris de madeira e inicialmente como finalidade o transporte de minério em minas, utilizando para tal tração animal para puxar pequenos vagões. Este modo de transporte rapidamente se mostrou ser bastante eficaz devido à pouca resistência ao deslocamento e rapidamente sofreu grandes evoluções. Ainda no século XVIII, com o surgimento dos primeiros carris metálicos e com a invenção da máquina a vapor, por Watt, em 1765, que posteriormente levou à primeira locomotiva a vapor inventada em 1808. O primeiro serviço de passageiros foi inaugurado no Reino Unido em 1825, entre Stockton e Darlington, a uma velocidade de apenas 20km/h. (Maia, 2008)

Segundo Maia (2008), o aparecimento dos caminhos-de-ferro marcou profundamente o transporte na Europa e no mundo, sendo que o seu desenvolvimento ao longo do século XIX foi imparável, tendo sido esta uma época dourada para este tipo de transporte. Desde o seu aparecimento no primeiro terço do século XIX o seu desenvolvimento foi muito rápido, passando imediatamente a ter um papel primordial no crescimento económico e no ordenamento territorial de todos os países europeus. Passa rapidamente a ser o modo de transporte dominante em todo o continente europeu, sendo que o seu crescimento é acompanhado pelo declínio do transporte fluvial, que é substituído em grande parte por este novo meio de transporte, e pelo quase desaparecimento do transporte por estrada (que na altura era realizado usando tração animal), que passa a servir unicamente para fazer as deslocações locais, em coordenação com o transporte ferroviário. Em termos de tráfego total este meio de transporte vai assistir a um crescimento contínuo, atingindo o seu apogeu imediatamente antes do começo da 1ª guerra mundial.

No caso de Portugal, dado ser um país europeu periférico, o desenvolvimento deste tipo de transporte foi mais tardio em relação a países da Europa central como a França ou países como o Reino Unido, que apesar de ser constituído por ilhas, atravessava uma época de grande desenvolvimento devido à revolução industrial. No entanto, este meio de transporte ajudou bastante ao desenvolvimento de Portugal, dada a facilidade de movimentação de pessoas e bens, principalmente em médias e longas distâncias. O início da jornada dos caminhos-de-ferro em Portugal começa em 1852 com a criação do Ministério das Obras

Públicas, tendo sido a inauguração da primeira linha, entre Lisboa e o Carregado, em 1856. Apenas em 1858-se inicia o serviço de mercadorias (em pequena velocidade), pois até então, era um meio de transporte apenas de passageiros. Algumas outras datas de grande importância na longa história dos caminhos-de-ferro Portugueses são (Comboios de Portugal, 2013):

- Conclusão da Linha do Leste (1863), permitindo a ligação a Espanha;
- Governo autoriza a construção das Linhas do Minho e do Douro (1867);
- Inauguração da Ponte Maria Pia sobre o Douro (1877), permitindo a ligação ferroviária entre Lisboa e Porto;
- É adjudicada à Companhia Real dos Caminhos de Ferro Portugueses a construção e exploração da Linha da Beira Baixa e Linha do Oeste (1883), tendo sido iniciada a exploração nas mesmas em 1891 e 1887 respetivamente;
- Abertura da Linha Setil – Vendas Novas (1904), que permitiu a ligação direta da rede do Norte com a do Sul;
- Inauguração da Linha do Vale do Vouga entre Espinho e Oliveira de Azeméis, com a presença do Rei D. Manuel II (1908);
- Abertura, em 1911, à exploração pública do Ramal de Aveiro, que, partindo da estação de Aveiro, e em Sernada do Vouga, ligava à Linha do Vale do Vouga (Espinho – Viseu);
- Inauguração da eletrificação da linha de Cascais (1926);
- Plano da Rede Unificada Portuguesa (1952), como ilustra a Figura 1;
- Viagem inaugural do comboio “Foguete”, em 1953 (automotora, de tração a gasóleo), capaz de assegurar a ligação Lisboa-Porto, em cerca de 4h20m.
- Início do serviço alfa Lisboa-Porto (1987) e do serviço Intercidades (1988).
- É inaugurada a nova travessia do Douro (Ponte S. João, 1991).
- Inauguração da travessia ferroviária na Ponte 25 de Abril e viagem inaugural do comboio Alfa Pendular (1999).



Figura 1. Plano da Rede Unificada Portuguesa em 1952 (CP, 2013)

A Figura 1 ilustra o Plano da Rede Unificada apresentado pela CP em 31 de Julho de 1952 (CP, 2013).

No entanto, o desenvolvimento do transporte ferroviário em Portugal passou por grandes dificuldades nas décadas seguintes. Por um lado, o pouco investimento efetuado, apesar da necessidade de modernização das infraestruturas e do material circulante. Por outro lado, o enorme crescimento do setor automóvel, o aparecimento do transporte aéreo e a introdução de várias linhas aéreas foram fatores que originaram um declínio do transporte

ferroviário. Por todos estes condicionalismos, o transporte ferroviário perdeu a “imagem” de transporte universal, e tornou-se cada vez mais num meio de transporte de pessoas e mercadorias entre locais específicos. Após a revolução do 25 de Abril de 1974, a Companhia dos Caminhos de Ferro Portugueses foi então alvo de inspeções, que verificaram a existência de graves problemas laborais, ocultados pela organização, que para serem solucionados, retiraram fundos da Companhia que já se encontrava em situação económica instável. A juntar a todos estes problemas, o setor ferroviário teve ainda de lidar com as crises de petróleo entre 1973 e 1978, que, por o parque ferroviário à altura ser constituído por locomotivas e automotoras *diesel*, provocaram uma redução substancial do tráfego ferroviário, devido ao elevado custo dos combustíveis. Somente em 1986, com a entrada de Portugal na União Europeia, foi possível voltar a investir significativamente no transporte ferroviário tendo a década de 1990 sido bastante positiva para o setor graças à modernização de estações, correção de traçados e aquisição de material circulante mais moderno, o que permitiu maiores velocidades de circulação. (Comboios de Portugal, 2013)

Atualmente, o setor ferroviário português encontra-se organizado da seguinte forma:

- Instituto da Mobilidade e dos Transportes (IMT), responsável pelo exercício das funções de regulamentação técnica, de licenciamento, coordenação, fiscalização e planeamento no setor dos transportes terrestres, fluviais e respetivas infraestruturas. Tem também como função, a gestão de contratos de concessão em que o Estado seja concedente, nos referidos setores ou em outros setores.
- REFER, empresa em que o objeto principal consiste no serviço público de gestão da infraestrutura integrante da rede ferroviária nacional, desenvolvendo as suas atividades de acordo com princípios de modernização e eficácia, de modo a assegurar o regular e contínuo fornecimento do serviço público e proporcionando ao mercado uma infraestrutura de transporte competitiva e segura. As atividades da REFER incluem: a construção, instalação e renovação da infraestrutura ferroviária; a gestão da capacidade da rede; o comando e controlo da circulação; a conservação e manutenção da infraestrutura.
- Operadores de transporte de passageiros e mercadorias com utilização da rede ferroviária nacional: CP; FERTAGUS; CP Carga; TAKARGO; COMSA).

1.2. Motivação

O transporte ferroviário, apesar de apresentar algumas desvantagens quando comparado com o transporte rodoviário, pode igualmente ser competitivo devido às vantagens que apresenta. Verificam-se diferenças, no que concerne nomeadamente à flexibilidade do transporte ferroviário, já que não é possível fazer chegar os bens e/ou pessoas porta-a-porta, ou quando há necessidade de obras na via, estas obrigam a condicionamentos ou até paragem da circulação de comboios nesse local por um período de tempo. No entanto, o transporte ferroviário apresenta vantagens interessantes, como a capacidade de movimentar grandes quantidades de carga e a sua eficiência energética, que tem um papel cada vez mais importante, dada a necessidade que o nosso país apresenta em reduzir o consumo de combustíveis fósseis. Não sendo os caminhos-de-ferro capazes de competir com as rodovias em curtas distâncias, para médias e longas distâncias é uma boa alternativa.

Nos primeiros meses de 2014, o Governo Português anunciou um grande investimento em infraestruturas ferroviárias e em portos com recurso à ajuda financeira da União Europeia, o que, a confirmar-se, vem quebrar um ciclo de diminuição no investimento nas ferrovias ao longo dos últimos anos. Com esta forte possibilidade de investimento nas vias ferroviárias portuguesas, estudos como o da presente dissertação podem ser bastante importantes para se compreender melhor qual o estado atual da rede ferroviária relativamente à capacidade de suportar um aumento de tráfego, de modo a ser possível uma melhor afetação dos recursos disponíveis, a identificação dos principais constrangimentos e um melhor planeamento da expansão da rede atual.

1.3. Objetivos

O trabalho apresentado tem como objetivo principal fazer o levantamento da rede ferroviária em exploração e das suas características. Relativamente à análise da capacidade da rede, serão realizados alguns estudos de caso, utilizando o método UIC 406, com atenção especial para a Linha do Norte entre Aveiro e Porto. Estes estudos de caso têm como finalidade a aplicação da metodologia acima referida e a identificação dos troços mais congestionados, pois são esses que requerem uma maior atenção.

1.4. Estratégia

Será realizado o levantamento da rede em exploração no momento da realização desta dissertação, com a ajuda dos dados fornecidos pela empresa REFER (entidade responsável pela infraestrutura ferroviária em Portugal), através do documento “Diretório da Rede 2015”, que se encontra disponível no sítio online da empresa e que todos os anos é atualizado. Com base nos dados da infraestrutura, serão realizadas cartas em *Autocad*, na escala 1:500 000, exibindo as diferentes linhas e as suas características, para melhor visualização de como a rede se encontra distribuída.

Depois de obtidos os dados da infraestrutura, pretende-se, combinando-os com os dados fornecidos pela CP e CP Carga, avaliar a capacidade na Linha do Norte entre Aveiro e Porto (Campanhã), já que esta (Linha do Norte) é a principal linha ferroviária em Portugal e uma das que tem maior procura. O troço escolhido deve-se à proximidade geográfica com a Universidade de Aveiro, ao facto de ser um troço onde é esperado haver grande número de comboios a circular devido aos serviços Urbanos Aveiro-Porto e ainda à frequente passagem de comboios de carga que fazem a ligação entre o Norte e o Centro e/ou Sul do país.

1.5. Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos e quatro anexos. O presente capítulo contém a introdução, onde é apresentada uma breve resenha histórica dos caminhos de ferro em Portugal, a motivação subjacente à realização do presente trabalho, os objetivos definidos como prioritários na consecução do mesmo, e a estratégia adotada para alcançar os objetivos propostos.

O capítulo 2 expõe uma introdução ao conceito de capacidade, segundo vários autores internacionais, e faz a distinção entre diferentes tipos de capacidade. Neste capítulo apresentam-se também os diferentes fatores que influenciam a capacidade, os quais se encontram divididos em três grupos: infraestrutura existente, material circulante e horários. Ainda neste capítulo, apresentam-se, vários métodos de determinar a capacidade de uma rede ferroviária, com especial atenção para o método utilizado nesta dissertação, o método sugerido pela ficha UIC 406 (UIC – *International Union of Railways*).

O capítulo 3 contém a informação relativa à infraestrutura ferroviária portuguesa, às suas características e ao tipo de serviços prestados em Portugal.

O capítulo 4 compreende os três estudos de caso, relativos à capacidade usada: na Linha do Norte entre Aveiro e Porto (Campanhã); Ramal do Porto de Aveiro; Linha do Vouga

O capítulo 5 apresenta a análise e discussão dos resultados para cada um dos estudos de caso anteriores, bem como as conclusões finais e propostas de trabalhos futuros.

Por último, pela quantidade e extensão dos dados e resultados, foram remetidas para anexos tabelas e figuras, estando organizados da seguinte forma: os mapas relativos à caracterização da infraestrutura constam do Anexo-A; informação relativa ao material circulante constam do Anexo-B; as tabelas de horários de comboios entre Aveiro e Porto constam do Anexo-C; as tabelas e diagramas relativos ao cálculo da capacidade na Linha do Vouga constam do Anexo-D.

2. CAPACIDADE DE REDES FERROVIÁRIAS

O conceito de capacidade numa via ferroviária não é tão facilmente entendível como, por exemplo, o conceito de capacidade de uma via rodoviária, onde esta corresponde ao máximo fluxo de veículos que ela pode acomodar usualmente expresso em veículos por hora ou veículos por dia. No caso de uma via-férrea, esta capacidade não é de medição tão fácil, sendo vários os fatores que a influenciam, a saber: horários; atrasos; o comprimento e a velocidade de cada comboio, sendo que, as secções / troços por eles ocupados estão diretamente relacionados com a sua extensão e velocidade. (Landex, 2008)

O próprio conceito de capacidade de uma via ferroviária é difícil de definir, de uma maneira geral, ao longo dos tempos, foram-lhe sendo atribuídos vários significados, designadamente:

- A capacidade de uma linha ferroviária é a sua aptidão de operar comboios com uma pontualidade aceitável (Skartæterhagen 1993);
- A capacidade teórica é definida como o número máximo de comboios que podem ser operados numa ligação ferroviária (Rothengatter 1996);
- A capacidade pode ser definida como a aptidão de uma infraestrutura em suportar um ou determinados horários (Hansen 2004);
- Capacidade pode ser definida como o número máximo de comboios que podem passar num determinado ponto de uma linha num certo intervalo de tempo (Longo e Stok 2007).

Apesar de este conceito não ser de definição direta, é fundamental para se poder determinar a quantidade de tráfego que pode ser movimentada numa rede ferroviária, bem como o seu nível de serviço e segurança.

O conceito de capacidade de uma rede ferroviária pode, no entanto, ser dividido em quatro tipos distintos (Abril, Barber, Ingolotti, Salido, Tormos, & Lova, 2007):

- Capacidade teórica: a designação “capacidade teórica” corresponde ao número de comboios que poderiam circular numa rede com as condições perfeitas, admitindo que não há atrasos, e que o intervalo entre os mesmos é o mínimo possível. Esta capacidade admite que os comboios são idênticos e que o tráfego é homogéneo, podendo ser obtida por uma fórmula empírica, e pode facilmente chegar-se a um valor, dado que depende apenas da distância entre estações (em

caso de linhas simples) ou da distância mínima entre comboios (em linhas duplas).

- Capacidade real: a capacidade real ou exequível é o valor representativo do volume de tráfego que pode ser movimentado numa rede com um nível aceitável de segurança. Este valor já tem em conta os fatores que influenciam a capacidade de uma rede, como o tipo de comboios (velocidade, comprimento e o tipo de serviço ou prioridade), sendo portanto um valor mais realista e aproximado ao que uma rede pode suportar, o qual representa cerca de 60 a 75% do valor da capacidade teórica.
- Capacidade usada: valor correspondente ao volume de tráfego que circula na rede, sendo normalmente, mais baixo que o valor da capacidade real.
- Capacidade disponível: a diferença entre a capacidade real e a capacidade usada corresponde à capacidade disponível, ou seja, é o volume de tráfego que a rede ainda pode suportar, mantendo o nível de serviço desejado.

A Figura 2 pretende mostrar não somente a relação entre capacidade teórica e capacidade real, mas igualmente a diminuição da segurança com o aumento da capacidade usada. Por este motivo, torna-se imperioso estabelecer um limiar mínimo de segurança, que, nesta figura, se encontra associado ao parâmetro “qualidade desejada”.

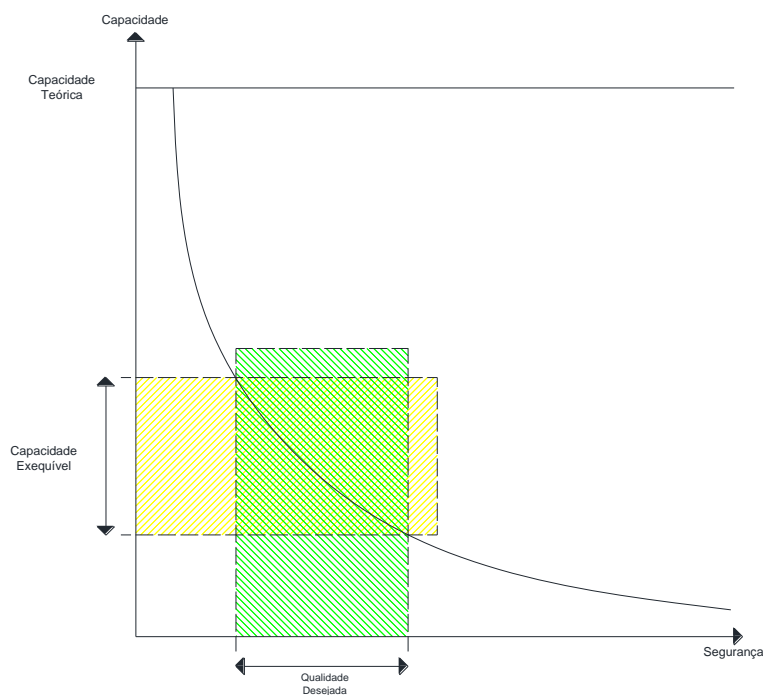


Figura 2. Diferentes conceitos de capacidade (Adaptado de Abril *et al.*, 2007)

2.1. Fatores que influenciam a capacidade

A capacidade de uma rede depende de diversos fatores, estes podem ser divididos em três grupos distintos: infraestrutura existente; material circulante; horários.

Relativamente à infraestrutura existente podem ser denotados os seguintes fatores (Abril et al., 2007):

- Sistema de sinalização: um dos objetivos da sinalização é ajudar a alongar a visão do maquinista, para permitir aos comboios atingir maiores velocidades, mas tem igualmente a função de os manter a uma distância de segurança. A utilização de sinais luminosos ao longo da rede impede que dois comboios se encontrem no mesmo troço ao mesmo tempo, entendendo-se por “troço”, neste caso, um trecho de via compreendido entre dois sinais luminosos consecutivos (Figura 3), o qual é normalmente designado por “cantão”. A distância entre sinais é, então, um fator com influência na capacidade, na medida em que troços mais curtos permitem um espaçamento menor entre dois comboios consecutivos. Cada bloco é constituído por uma distância que permita ao comboio realizar uma paragem total com frenagem normal.

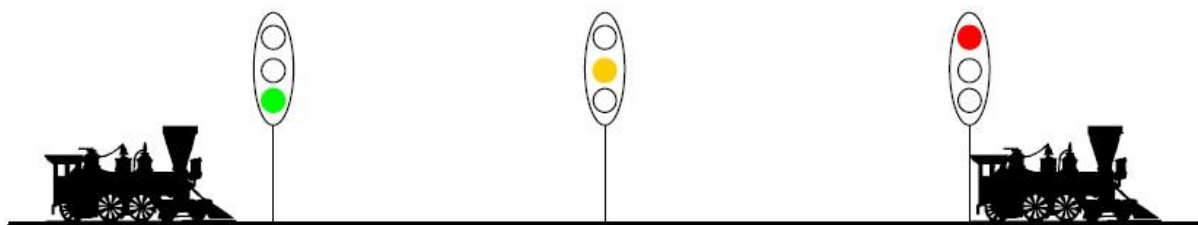


Figura 3. Sinais luminosos em vias-férreas (Abril et al., 2007)

No que concerne à sinalização, existem dois tipos distintos, a sinalização estática e a sinalização dinâmica. Na primeira, na localização de um comboio apenas se sabe qual o troço que este ocupa, impondo-se que cada troço apenas pode ser ocupado por um comboio. No segundo tipo de sinalização, cuja tecnologia é mais moderna, sabe-se continuamente a posição exata de cada comboio, permitindo uma melhor regulação da distância entre eles. Este tipo requer, no entanto, um sistema de comunicação bastante eficiente entre a sinalização, a cabine do maquinista e os centros de controlo;

- Linhas simples e linhas múltiplas: a dicotomia “linhas simples”/“linhas múltiplas tem grande influência na capacidade, porém, o seu impacto não é tão

simples de obter como meramente multiplicar a capacidade de uma linha simples pelo número de linhas. Repare-se que duas linhas normalmente apresentam quatro vezes mais capacidade que uma linha simples, no entanto, quatro linhas raramente aumentam mais de 50% a capacidade em relação a uma linha dupla. Além disso, adicionar uma segunda linha não elimina problemas de congestionamento, que normalmente acontecem nas estações. Por seu turno, as linhas auxiliares nas estações aumentam a capacidade de uma linha simples, pois permitem a ultrapassagem de comboios.

- Efeitos da rede: uma linha simples não pode ser considerada independente da rede, devido ao cruzamento e sobreposição de linhas, que podem tornar-se pontos de estrangulamento. Como consequência, a capacidade de uma linha não pode ser definida sem considerar a forma como as outras linhas da rede interferem no funcionamento desta.
- Estrutura da linha e limites de velocidade: as características e estado dos carris ditam o peso e tipo de material circulante que pode circular numa linha, bem como os limites de velocidade, os quais são regulados tendo em conta fatores de ordem física, segurança, conforto e o tipo de comboio.

Relativamente ao material circulante apresentam-se os seguintes fatores com influência na capacidade (Abril et al., 2007):

- Tipos de comboios: a capacidade depende bastante deste parâmetro. Efetivamente, o ideal seria que todos os comboios fossem iguais e praticassem a mesma velocidade, no entanto devido à variedade de tipos de comboios, há mais interferências (ultrapassagens e cruzamentos) que por sua vez provocam uma redução do fluxo de tráfego. Além da velocidade máxima, também a capacidade de aceleração e desaceleração dos comboios, bem como o seu comprimento, são importantes para os valores da capacidade usada.
- Fator de ponta de tráfego: o fator de ponta de tráfego representa o grau de concentração do tráfego num curto intervalo de tempo. Quanto maior for o fator, maior será a concentração de tráfego num determinado espaço de tempo. Tem bastante importância, pois pode resultar em níveis de tráfego mais altos dos que a rede pode suportar.
- Prioridade: a prioridade de certos comboios pode provocar redução na capacidade, na medida em que estes comboios têm “tratamento privilegiado” em

relação aos restantes, provocando assim atrasos adicionais aos que perdem prioridade. Daqui logicamente se infere que, quanto maior for o número destes comboios, menor será a capacidade de uma rede.

No que concerne aos horários, apresentam-se as seguintes condicionantes na capacidade (Abril et al., 2007; Fialho, 2013):

- Interrupções das linhas: quer sejam planeadas (manutenção, obras de modernização, etc.) ou não planeadas (avaria de comboios, problemas nos carris, etc.), estas interrupções afetam a capacidade, na medida em que reduzem o número de horas em que é possível a circulação de comboios.
- Tempo de paragem: o tempo de paragem é um parâmetro relacionado com o tempo em que os comboios estão parados na linha (por exemplo para ceder passagem a um comboio com prioridade), provocando um atraso devido ao aumento do tempo que um comboio demora a percorrer um troço.
- Limiar de tempo máximo de viagem: este parâmetro representa o limite máximo de tempo em que um comboio deve cumprir a sua viagem e afeta a capacidade, pois restringe o número e/ou duração das paragens.
- Janela de tempo: neste âmbito, salienta-se o intervalo de tempo a ter como referência aquando da definição da capacidade desejada para uma linha, sendo, por norma, tido em conta como uma hora ou um dia de trabalho.
- Qualidade de serviço: como as operações (funcionamento) não são perfeitas, e aleatoriamente ocorrem perturbações ou falhas na gestão dos comboios entre as linhas, reduzindo a capacidade teórica das mesmas, há que ter em conta um tempo de folga para considerar estes atrasos.

A Figura 4 mostra como os atrasos crescem exponencialmente assim que o número de comboios atinge o grau de saturação de uma rede, ou seja, quando a linha atinge o número de comboios que pode suportar sem muitos atrasos. Torna-se assim pouco vantajoso aumentar o número de comboios em circulação além deste valor.

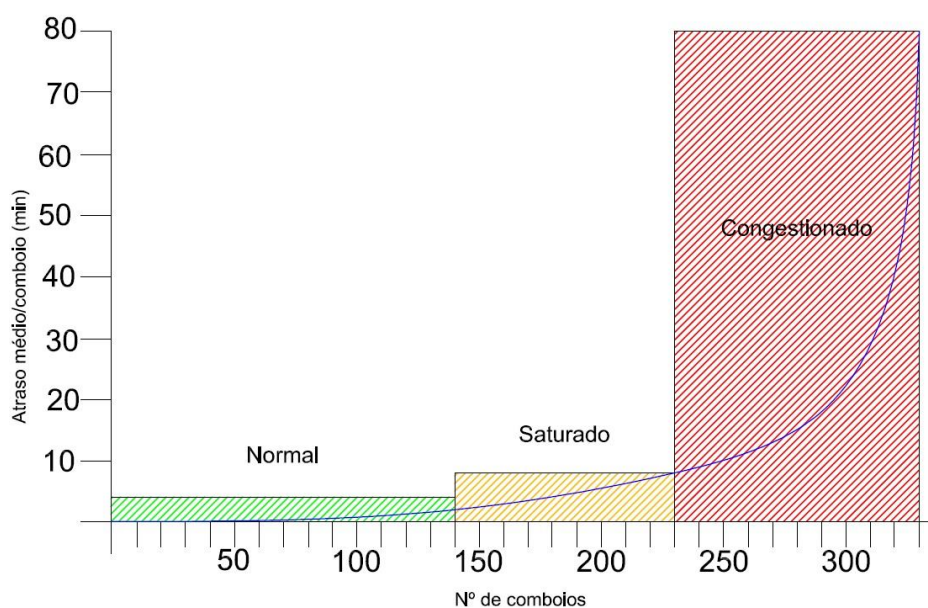


Figura 4. Atrasos por comboio Vs. Aumento de comboios em circulação (Adaptado de Abril *et al.*, 2007)

2.2. Métodos de determinação da capacidade de redes

A otimização do uso de uma infraestrutura é uma tarefa difícil e complexa. Por este motivo, devem ser efetuados estudos sobre a capacidade, a fim de se perceber que parte “extra” do tráfego pode ser absorvida pela infraestrutura existente e quanto investimento é necessário para novas infraestruturas caso a capacidade se revele insuficiente. Os resultados destes estudos devem ser rápidos e precisos, de forma a saber-se que vagas nas vias podem ser oferecidas aos operadores e quanto tráfego pode ainda ser suportado pela rede existente. Estes estudos devem ainda fornecer às autoridades regionais, nacionais e aos proprietários das infraestruturas informações que provem que é necessário investir na infraestrutura e se é ou não viável financeiramente. (Abril *et al.*, 2007)

A capacidade tem sido, desde há muito, uma questão importante na indústria ferroviária. O objetivo da análise da capacidade consiste em determinar o número máximo de comboios que seria possível operar numa dada infraestrutura durante um intervalo de tempo específico. Para o efeito, várias ferramentas foram sendo desenvolvidas para estudar este problema, baseadas em padrões de tráfego (Forsgren, 2003), na análise de modelos de via única (Petersen, 1974), ou em abordagens algébricas (Egmond, 1999). Um método muito usado para avaliar a capacidade de redes ferroviárias, é o método UIC 406, publicado pela *International Union of Railways*, que é uma organização mundial para a cooperação internacional entre as companhias de caminhos-de-ferro associadas e para a promoção do modo de transporte ferroviário. O documento onde a metodologia se encontra descrita

encontra-se dividido em várias secções, onde são apresentados os diversos fatores que influenciam a capacidade. No entanto, várias empresas internacionais têm desenvolvido ferramentas informáticas que permitem fazer a simulação do uso de uma linha e/ou rede, com vista a servirem de auxílio no estudo deste problema. São exemplo desse tipo de ferramenta os seguintes *softwares* (Abril et al., 2007; Fialho, 2013):

- DEMIURGE (SNCF e Eurodecision, 2004) é um *software* destinado a ajudar em estudos de capacidade de redes ferroviárias. Este *software* é capaz de avaliar a capacidade de uma certa rede suportar mais tráfego, a localizar pontos de estrangulamento, a auxiliar decisões de investimento na infraestrutura, a otimizar o atual e futuro horário, e ainda, a calcular a capacidade restante de um horário;
- CMS (AEA Technology Rail) é um sistema que fornece uma avaliação da capacidade real de uma rede e permite a introdução de diferentes cenários, geração automática de horários, simulação de operações para prever o desempenho e identificar soluções e estimar a capacidade baseando-se em horários melhorados. No entanto, o sistema CMS precisa de ser calibrado, usando dados atualizados acerca da pontualidade para que as informações obtidas sejam válidas;
- RAILCAP (Stratec) mede o quanto da capacidade está a ser usado a partir de um plano de operação de uma forma muito direta, e oferece análises detalhadas de pontos de estrangulamento. No entanto, a sua maior desvantagem está relacionada com o facto de o RAILCAP necessitar de informações detalhadas acerca das linhas, desvios, cruzamentos, sinalização e limites de velocidade;
- VIRIATO (SMA and Partner) é principalmente usado para adaptar a infraestrutura a serviços futuros e coordenar vários operadores que usem a mesma infraestrutura, permitindo ao utilizador determinar a grau de saturação de uma linha específica. Com um dado horário, determina o grau de saturação de uma linha (ou parte de uma linha) em percentagem. Este método leva a resultados diferentes na mesma linha, dependendo do comprimento da secção em análise;
- CAPRES (Lucchini and Curchod, 2001) é um modelo para a elaboração e saturação de variantes de horários. Através do uso de iterações, este modelo determina todos os traçados disponíveis, dados todos os constrangimentos e ligações entre linhas. Contudo, a desvantagem deste modelo está relacionada com a necessidade de completar a informação da rede com quando, onde e como a mesma deve ser usada;

- FASTTRACK II (Multimodal Applied Systems) é uma ferramenta informática capaz de produzir um plano possível para um traçado selecionado, partindo de um horário e da configuração da linha em estudo. Pode ser usado para verificar a possibilidade de um conjunto de horários, testar o impacto de alterações em regras operacionais e ainda medir o capacidade teórica e prática da linha;
- OPENTRACK (OpenTrack Railway Technology) é um software que pretende obter respostas acerca da operacionalidade da rede, fazendo a simulação do movimento dos comboios sob as restrições do sistema de sinalização e do horário;

2.3. Método UIC 406

O método da *International Union of Railways*, UIC 406 descreve a capacidade ferroviária como o número possível de trajetos numa janela de tempo. Para medir a capacidade usada, este método utiliza gráficos que incluem implicitamente parâmetros como características da infraestrutura ou o tipo de material circulante quando se determina a dimensão do degrau ocupado pelo bloco (*blocking stairs*). Para determinar a capacidade, este método comprime os horários, para que o tempo de folga seja nulo, considerando o tempo mínimo de separação entre comboios, sendo este último dependente do tipo de sistema de sinalização da rede e características do comboio. (Landex, 2008)

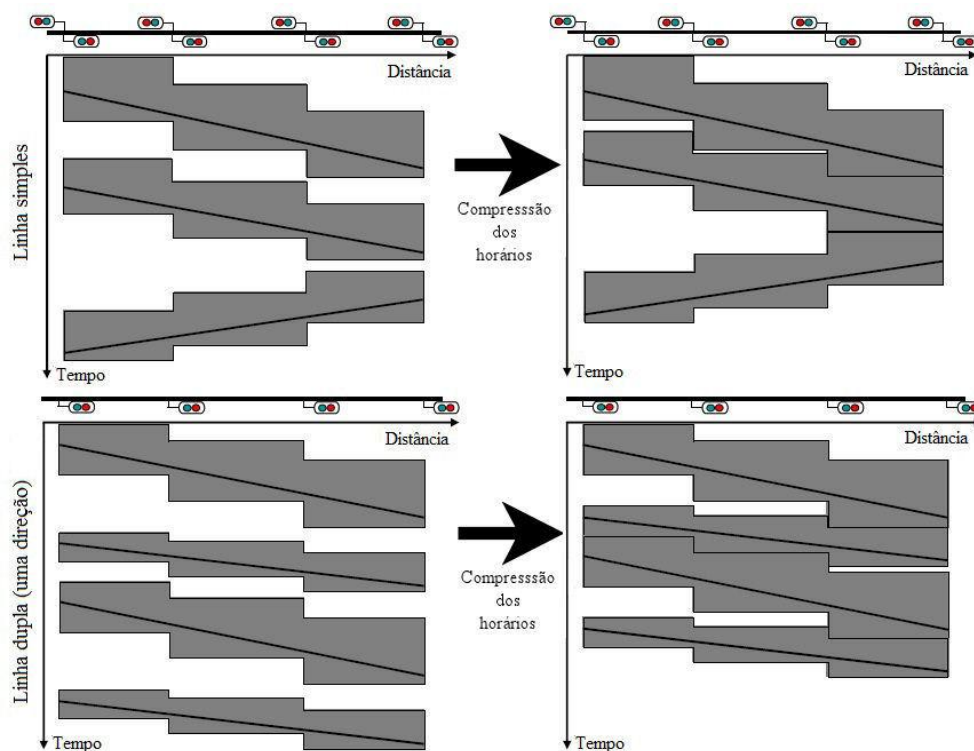


Figura 5. Compressão dos horários segundo o método UIC 406 (Adaptado de Landex, 2008)

Tal como foi referido acima, o tempo de ocupação de um bloco/troço depende de parâmetros da infraestrutura (espaçamento entre os sinais) e do tipo de material circulante (comprimento e velocidade dos comboios). A Figura 6 que se apresenta de seguida pretende mostrar como se obtém este tempo de ocupação e quais os parâmetros de que depende.

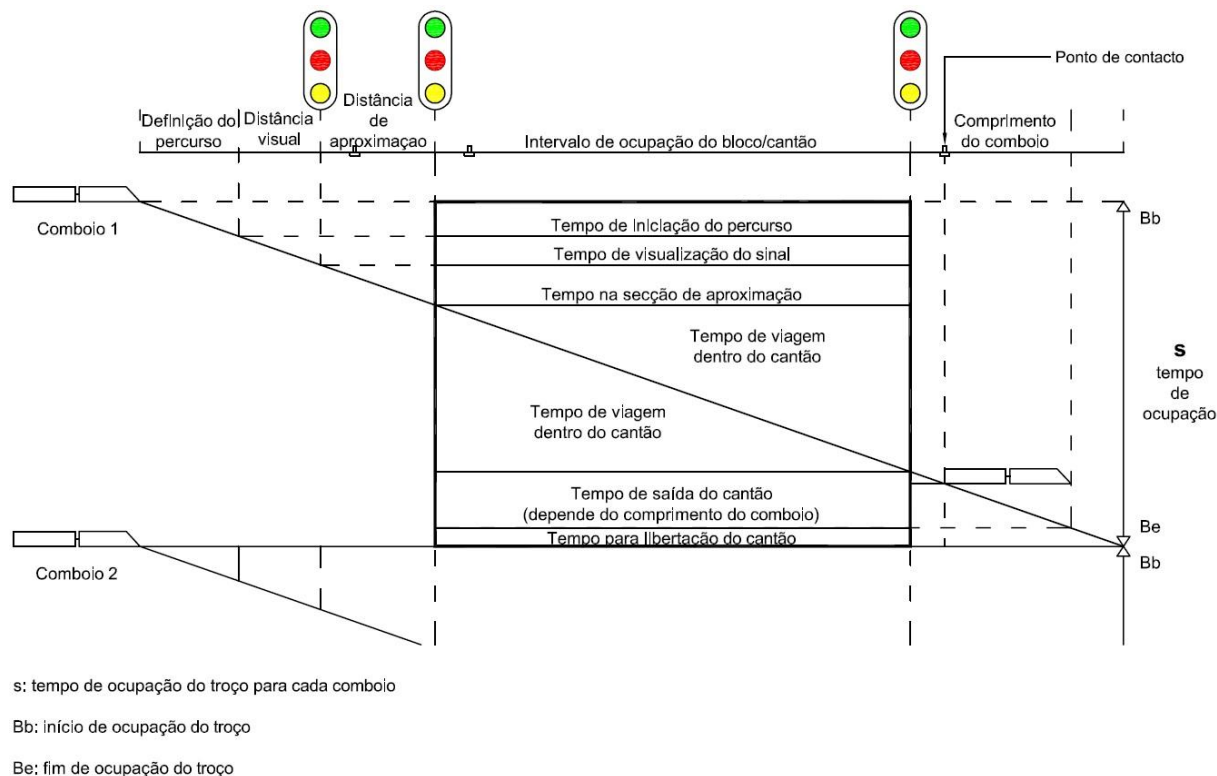


Figura 6. Tempo de ocupação de um cantão por um comboio (Adaptado de Landex, 2008)

Como uma rede ferroviária é bastante complexa, devido à interação de várias linhas, este método apenas é capaz de estudar a capacidade dividindo a rede, e estudando individualmente certos troços. A capacidade usada, expressa em percentagem, pode então ser obtida facilmente com utilização de uma fórmula (1) que inclui parâmetros como: capacidade usada em percentagem (K), tempo de ocupação da linha (t_A), tempo de folga (t_B), suplemento associado a linhas simples (t_C), manutenção (t_D) e janela de tempo considerada (t_U). (Landex, 2008)

$$K = \frac{t_A + t_B + t_C + t_D}{t_U} \times 100\% \quad (1)$$

Para aplicar este método, é então necessário conhecer-se quer a infraestrutura existente, quer os horários de circulação, seguindo a seguinte ordem de tarefas:

- 1) Levantamento da infraestrutura existente
- 2) Levantamento/criação dos horários
- 3) Divisão da rede em troços
- 4) Compressão dos horários
- 5) Obtenção da capacidade usada

A divisão da rede em troços, ou secções de menor extensão, é feita dissecando a rede em certos pontos como estações, cruzamento de linhas, estações terminais, ou locais onde é possível a ultrapassagem de comboios. A Figura 7 exemplifica esta divisão da rede:



Figura 7. Divisão da rede em troços (Adaptado de Landex, 2008)

De seguida, apresenta-se um diagrama simplificado (admitindo comboios com velocidades iguais) de como se representa uma linha simples, com utilização de comboios nos dois sentidos:

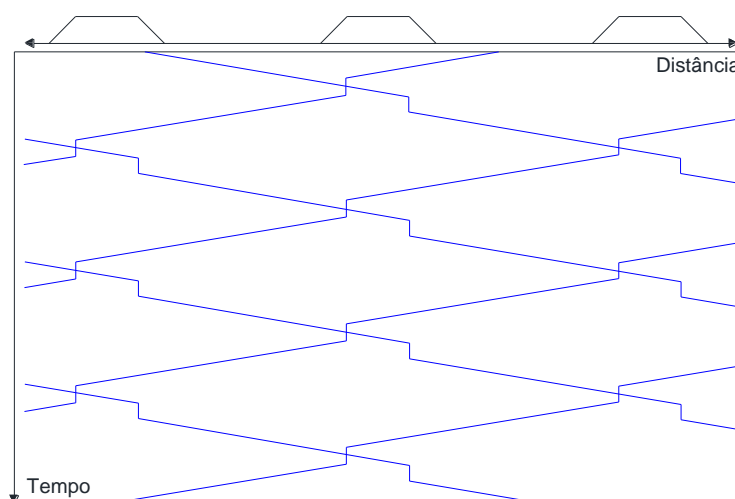


Figura 8. Ocupação de uma linha simples por comboios nos dois sentidos (Adaptado de Landex, 2008)

Este estudo é feito, como foi referido anteriormente, troço a troço, pois é impossível fazer diretamente o estudo de uma rede ou via completa. Usualmente, atribui-se ao valor da

capacidade usada de uma linha, o valor correspondente ao da secção com o valor mais elevado, já que esta secção é a mais limitadora no caso de se pretender introduzir mais comboios em circulação. No entanto, dentro de uma linha ferroviária, há comboios que podem operar apenas em certas secções, podendo adicionar estes em troços com valor mais baixo de utilização, sem que haja aumento no valor total da capacidade usada por toda a linha (Figura 9).

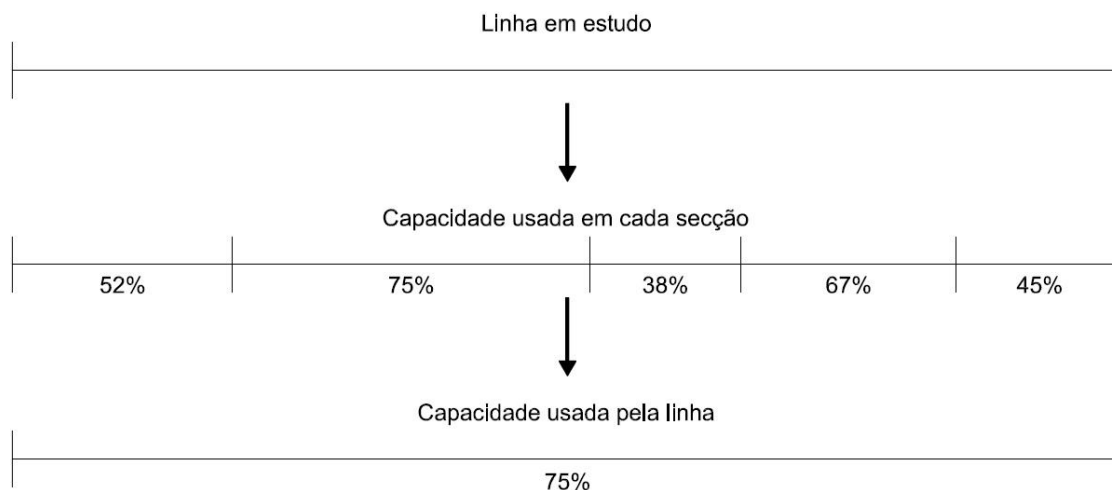


Figura 9. Capacidade de uma secção Vs. Capacidade da linha (Adaptado de Landex, 2008)

A Figura 10 pretende mostrar um exemplo de estudo de capacidade de uma secção entre duas estações, para melhor compreensão da relação entre capacidade usada, capacidade disponível e um fator de qualidade que é necessário estar associado, dado que, como foi referido anteriormente, não é possível o aumento contínuo no número de comboios movimentados num troço, sem perda de qualidade no serviço ou sem atrasos.

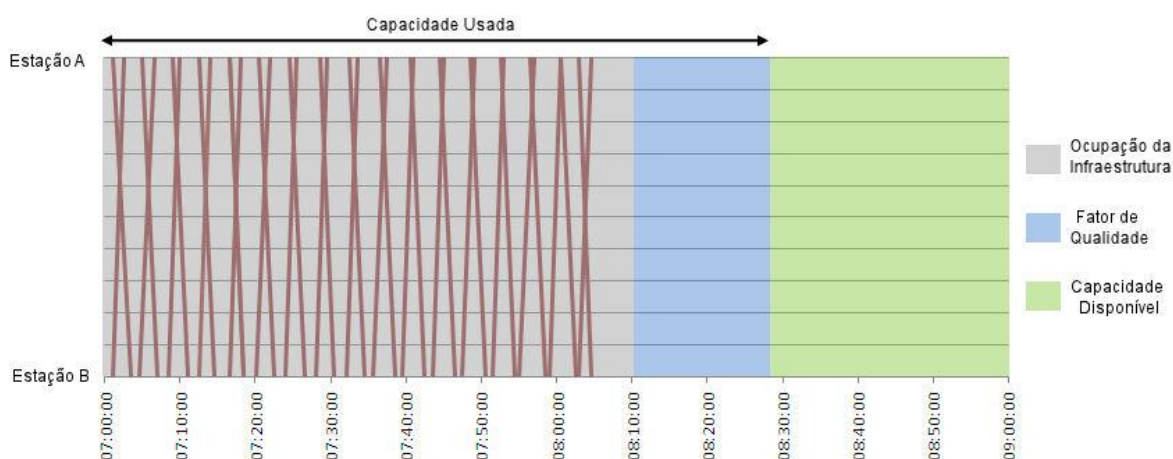


Figura 10. Capacidade usada entre duas estações (Fialho, 2013)

O método UIC não indica diretamente os valores deste fator de qualidade, mas sim os valores máximos da capacidade usada, como se pode ver na Tabela 1, no entanto, o fator de qualidade está implícito no valor da capacidade usada.

Tabela 1. Valores máximos de capacidade usada (UIC, 2004)

Tipo de linha	Hora de ponta	Diário	Observação
Urbanos (%)	85	70	Possibilidade de cancelar serviços permite valores mais altos de capacidade usada.
Mista (%)	75	60	Pode ser mais alto se o número de comboios for baixo (menos de 5 por hora) com bastante heterogeneidade
Linha de alta velocidade (%)	75	60	

O fator de qualidade associado à capacidade usada, podendo ser entendido como um tempo de folga, tem como principal objetivo evitar a propagação de atrasos ao longo do horário. Como se pode perceber facilmente, este valor não é sempre o mesmo, sendo necessário ter em conta a janela de tempo em análise e também o tipo de serviço que a linha em estudo fornece. Uma linha onde o serviço é essencialmente urbano tem um fator de qualidade de valor mais reduzido que uma linha mista (constituída por comboios Urbanos, de longa distância e/ou de carga), e isto deve-se ao facto de esta linha apresentar um serviço homogéneo, mas com maior frequência, permitindo uma mais fácil recuperação de atrasos, sendo mesmo possível o cancelamento de serviços. Numa linha mista, como o serviço não é homogéneo, havendo comboios com diferentes velocidades e paragens, o risco de os atrasos se propagarem é maior, daí ser sugerido pelo UIC um fator de qualidade maior para este tipo de linha. Também as linhas destinadas à alta velocidade necessitam de um fator de qualidade mais elevado, pois qualquer paragem não planeada ou restrições de velocidade na linha levam a mais atrasos do que numa linha de velocidades inferiores.

A janela de tempo também interfere com o fator de qualidade e isto pode ser explicado com a maior capacidade de recuperar atrasos se a análise for feita para um dia inteiro. A necessidade de transportar mais passageiros nas horas de ponta pode levar a que seja imperioso adicionar comboios ou torná-los mais longos. Nas horas de ponta, a necessidade de transportar a quantidade de passageiros necessária (ou possível) torna-se uma prioridade em relação aos atrasos, daí o fator de qualidade ser inferior para as horas de ponta.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores dos fatores de segurança, partindo da tabela 1, publicada pela UIC em 2004.

Tabela 2. Fatores de qualidade para a capacidade usada

Tipo de linha	Hora de ponta	Diário
Urbanos (%)	15	30
Mista (%)	25	40
Linha de alta velocidade (%)	25	40

Retirando o fator de qualidade dos valores sugeridos no método UIC e aplicando ao valor referente a ocupação da infraestrutura, obtém-se um valor de percentagem da capacidade usada de 0% a 100%, podendo no entanto este valor ser superior a 100%. Caso se verifique o paradoxo de este valor ser superior a 100%, tal não implica que a linha tenha comboios a mais, mas sim que não é possível o funcionamento da mesma com a estabilidade ou pontualidade satisfatórias.

3. REDE FERROVIÁRIA PORTUGUESA

O transporte rodoviário continua a ser dominante, quer em Portugal, quer na União Europeia, considerando-se que apresenta vantagens com as quais o transporte ferroviário não consegue competir, como sejam a flexibilidade das rotas, a regularidade de serviços e uma maior “liberdade”, na medida em que as entregas podem ser feitas porta-a-porta. Tal facto, aleado ao maior investimento de Portugal em autoestradas, tem vindo a provocar, nos últimos vinte anos, um decréscimo no número de vias férreas em operação. Apesar de, entre 2011 e 2012, a União Europeia apresentar um aumento de 3,5% no número de passageiros transportados, Portugal apresentou a segunda maior quebra dos países europeus, com menos 11,3% de passageiros transportados nesse período.

A rede ferroviária em exploração totalizava no final de 2012, segundo os dados do Instituto Nacional de Estatística 2 541,2 km, registando uma redução de aproximadamente 10% face a 2011. No final do mesmo ano, a rede eletrificada totalizava 1 630,1 km (98,4% dos quais com tensão de 25 000V), apresentando um aumento de apenas 400m nesse ano. Como se pode verificar na Tabela 3, Portugal, na última década, teve uma redução de 10,9% (276,5 km) na extensão total da sua rede ferroviária explorada, com as maiores reduções a acontecerem em 2011 e 2012.

Tabela 3. Extensão total da rede ferroviária portuguesa (INE,2013)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Extensão total (km)	2817,7	2835,8	2838,8	2839,4	2838,4	2841,6	2841,6	2843,0	2793,9	2541,2
Variação (%)	-	0,64	0,11	0,02	-0,04	0,11	0,00	0,05	-1,76	-9,94

Segundo a empresa REFER, em 2014, a rede em exploração totaliza 2438,8 km (em bitola ibérica).

A Figura 11 mostra as linhas presentemente em atividade e a sua denominação.

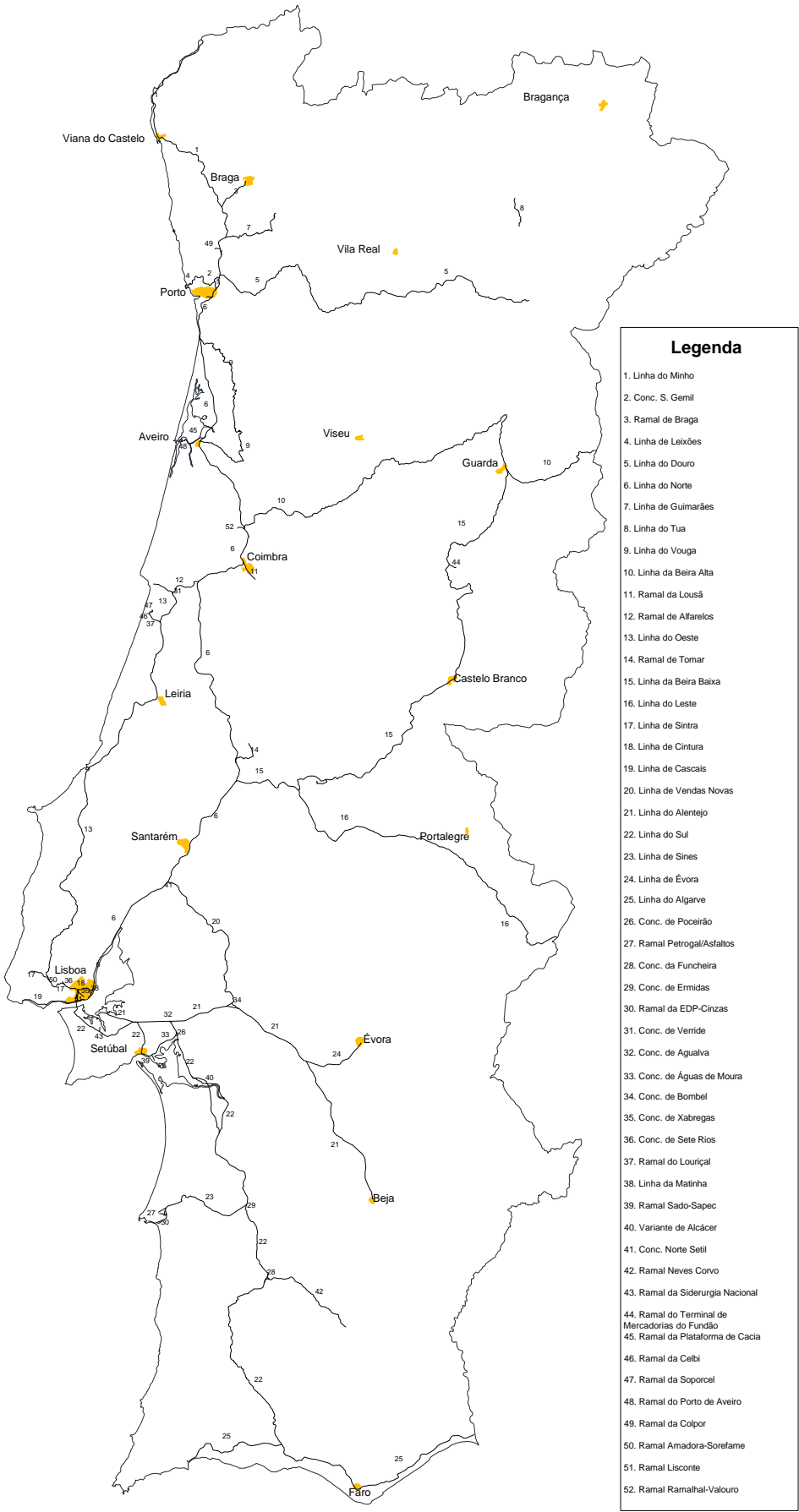


Figura 11. Rede ferroviária portuguesa (Adaptado de REFER, 2014)

3.1. Caraterísticas Físicas

As caraterísticas físicas da rede ferroviária podem ser divididas em 6 grupos: tipologias de via; bitola de via; contornos de referência; cargas máximas; rede eletrificada; patamares de velocidade máxima. Apresenta-se de seguida uma breve explicação de cada um deles:

- **Tipologias de via:** a rede ferroviária portuguesa é constituída maioritariamente por linhas simples, sendo 1828,5 km em bitola larga/ibérica e 108,1 km em bitola estreita/métrica. As linhas duplas totalizam 562,6 km, sendo a maior parcela deste valor referente à Linha do Norte, que contribui com 305,6 km de via dupla. Ao longo da rede existem apenas alguns troços de linha múltipla, nomeadamente o troço da Linha do Norte, entre as estações de Lisboa-Oriente e Alverca, com cerca de 15 km de extensão, que é constituído por 4 vias. Os troços em linha múltipla totalizam 47,7 km em toda a rede. No Anexo-A é apresentado um mapa com as tipologias de via.
- **Bitola de via:** a bitola de uma via-férrea corresponde à largura determinada pela distância medida entre as faces interiores das cabeças dos carris. A bitola é caraterística de cada país ou conjunto de países, e numa altura em que o transporte ferroviário se desenvolveu bastante, nas primeiras décadas do século XX, começou por ser uma medida que impedia a invasão do próprio país por modo ferroviário, já que este era o principal modo de transporte de material bélico. Em Portugal, há dois tipos de bitola: a bitola métrica (também designada por bitola estreita) com uma distância entre carris de 1000mm e que é usada nas Linhas do Vouga e do Tua, perfazendo 108,1 km; a bitola ibérica, também conhecida como bitola larga, que, como o nome indica, é caraterística da Península Ibérica e é utilizada no restante da rede ferroviária nacional, com um total de 2438,8 km, apresentando uma distância de 1668 mm entre carris. A bitola mais utilizada a nível mundial é a bitola internacional, também conhecida como bitola padrão, que corresponde a uma distância entre carris de 1435 mm,
- **Contornos de referência:** o contorno de referência, ou gabarito, corresponde à secção transversal ao eixo da via, que define o máximo espaço de ocupação possível dos veículos (motores ou rebocados) quando circulam na via. Este

espaço é mais amplo do que aquele que resulta das dimensões dos veículos, uma vez que considera as suas posições de inscrição na via.

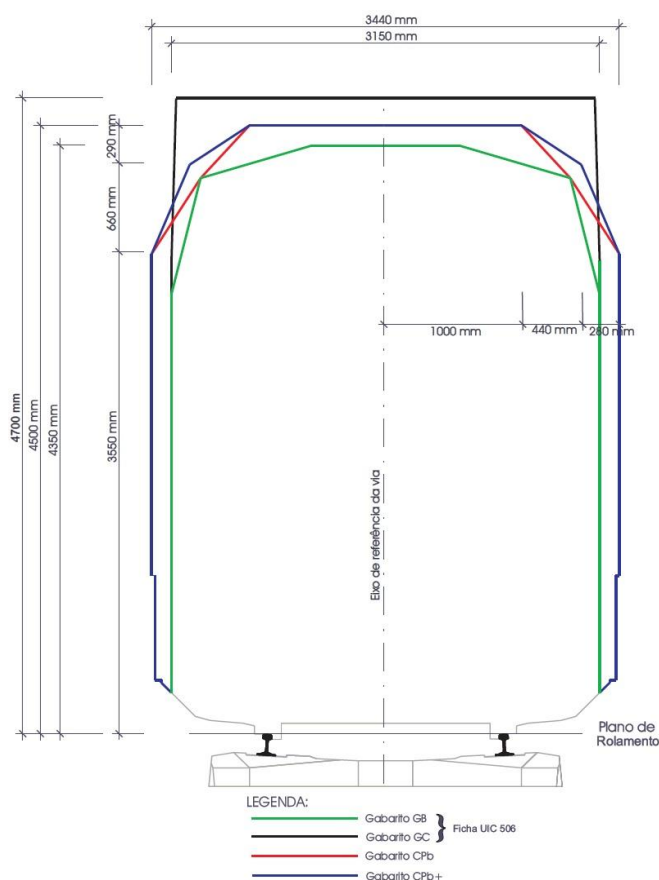


Figura 12. Tipos de Gabarito (REFER, 2014)

O gabarito mais comum é o CPb+, usado em 1611,8 km da rede, enquanto o gabarito CPb é usado meramente em certos troços, como por exemplo, nas Linhas do Minho, Oeste, Beira Baixa, Alentejo e Algarve (808,1 km no total). Há também o gabarito de via estreita, que é característico das linhas de bitola métrica do Vouga e do Tua (108,1 km). No Anexo-A é apresentado um mapa com os diferentes tipos de gabarito na rede.

- Cargas máximas: a rede de bitola ibérica pode ainda ser classificada de acordo com a sua capacidade de carga máxima e, segundo a ficha UIC 700, as linhas podem ser classificadas de acordo com a capacidade de carga da seguinte forma (Tabela 4):

Tabela 4. Cargas máximas

Classificação	Toneladas/Eixo	Toneladas/Metro
D4	22,5	8
D3	22,5	7,2
D2	22,5	6,4
C4	20	8
C3	20	7,2
C2	20	6,4
B2	18	6,4
B1	18	5
A	18	5

A grande maioria das linhas são classificadas como D4 (1995,0 km), sendo alguns troços “secundários” classificados como D2, B2, B1 e A, como são os casos de troços das linhas do Douro, Oeste, Beira Baixa, Algarve e ramal de Alfaielos. No Anexo-A é apresentado um mapa com as cargas máximas das vias.

- Rede eletrificada: do total da rede em exploração (2438,8 km em bitola ibérica), 1633,7 km encontram-se eletrificados, correspondendo a, aproximadamente, 67%. Destes 1633,7 km, a grande maioria utiliza um sistema com 25 kV de voltagem e uma corrente com 50 Hz de frequência. Apenas a Linha de Cascais, que faz a ligação entre as estações de Cascais e o Cais do Sodré em 25,4 km é alimentada por um sistema com tensão contínua de 1500 V. No Anexo-A é apresentado um mapa com o tipo de eletrificação das linhas.
- Patamares de velocidade máxima: os patamares de velocidade máxima indicam as velocidades máximas a que os comboios podem circular em certos troços e os seus valores dependem de fatores como a configuração da linha em termos de traçado longitudinal, do tipo de controlo de tráfego e o espaçamento entre sinais (distância do cantonamento). No Anexo-A apresenta-se um mapa com os vários patamares de velocidade na rede ferroviária nacional.

3.2. Sistemas de Segurança e Controlo de Velocidade

A infraestrutura ferroviária encontra-se também munida de sistemas que visam garantir a segurança, evitando, deste modo, acidentes e colisões entre comboios. A rede encontra-se dividida em blocos, também igualmente conhecidos como cantões, permitindo que apenas um

comboio de cada vez se encontre dentro de um bloco. De igual forma, e tendo por base os mesmos pressupostos, os comboios encontram-se equipados com sistemas de segurança que podem atuar em caso de erro humano. Estes sistemas de segurança podem ser divididos em tipo de comando, sistema de controlo de velocidade e tipo de rádio solo-comboio e são apresentadas de seguida as principais características:

- Tipo de comando: chama-se tipo de comando, ou seja, sistema de cantonamento, ao sistema de exploração que garante a circulação dos comboios, de acordo com a ocupação de cada cantão por um único comboio, em cada momento. Existem atualmente cinco tipos de cantonamento, apresentando-se, no Anexo-A um mapa com os diferentes tipos de cantonamento usados em Portugal.
 - Cantonamento Automático com Bloco Orientável (Eletrónico): este tipo de cantonamento realiza-se automaticamente pelo movimento dos próprios comboios e tem por finalidade a proteção de circulações sucessivas no mesmo sentido e numa mesma via, mantendo entre elas distâncias de segurança. O cantonamento automático pode ser denominado como sendo de bloco orientável ou sem bloco orientável, conforme permita movimentos de comboios nos dois sentidos ou apenas num, respetivamente. Este tipo de cantonamento é usado em 1601,3 km de rede.
 - Cantonamento Automático sem Bloco Orientável (Elétrico): tal como o anterior, este tipo de cantonamento tem a finalidade de manter distâncias de segurança entre comboios, no entanto apenas permite movimentos de comboios num sentido e é usado em 100,0 km, apenas na Linha de Cascais e no troço da Linha do Norte entre Ovar e Vila Nova de Gaia e entre Santana-Cartaxo e Entroncamento.
 - Cantonamento Telefónico (Mecânico): este é o sistema de cantonamento que se efetua por troca de despachos telefónicos entre uma dependência e as suas colaterais com interferência na circulação, pedindo e autorizando a ocupação do único cantão existente num dado sentido entre as referidas dependências, sendo usado em 691,5 km da rede.
 - R.E.S.: R.E.S. é a sigla habitualmente utilizada para designar o Regime de Exploração Simplificada, que é o regime de exploração a que está submetida uma linha ou troço de linha de via única, para a qual é designado um Chefe de linha (agente instalado numa das estações da

- linha que dirige e autoriza todo o serviço da circulação dos comboios nessa linha) e um Chefe de comboio que, seguindo nele, recebe do Chefe da linha, quer pelo telefone, quer pessoalmente, todas as ordens e diretrizes relativas ao serviço da circulação e ao serviço do seu comboio.
- S.I.S.E.: no S.I.S.E., mais conhecido como cantonamento por sinais encravados, a circulação faz-se através da conjugação entre o sinal de saída de uma estação e o sinal de entrada na estação seguinte.
 - Sistema de controlo de velocidade: complementarmente ao tipo de comando, existem ainda dois tipos diferentes de controlo automático de velocidade, o Sistema Convel tipo ERICAB 700 e o Sistema de Frenagem Automática, apresentando-se no Anexo-A um mapa com os sistemas de controlo de velocidade usados.
 - Sistema Convel tipo ERICAB 700: o Sistema Convel designa o Controle Automático de Velocidade tipo ERICAB 700, e evita que os comboios excedam os limites de velocidade aumentando assim a segurança. Este sistema funciona através de circuitos ressonantes indutivos colocados na via e de equipamentos de bordo correspondentes, fazendo a verificação pontual se as velocidades são cumpridas, se as frenagens são efetuadas e se os sinais de paragem são respeitados. Em caso de anomalia, o sistema desencadeia a aplicação automática dos freios, auxiliando assim os maquinistas no exercício das suas funções, impedindo que a velocidade dos comboios ultrapasse certos valores impostos pelas condições de segurança. Este sistema é o mais usado na rede, mais precisamente em 1670,0 km.
 - Sistema de Frenagem Automática: este sistema, mais antigo que o sistema ERICAB 700, utiliza magnetos para fazer parar um comboio no caso de o maquinista não respeitar um sinal de paragem. Ao contrário do sistema anterior, este não tem a capacidade de supervisionar a velocidade do comboio e é usado em apenas 25,4 km da rede, concretamente na Linha de Cascais.
 - Rádio solo-comboio: o rádio solo-comboio corresponde a um sistema de comunicações em fonia por voz, ou seja, utiliza-se a voz para o controlo de circulação, contacto que é estabelecido entre o maquinista e a centro de comando ou vice-versa. Na rede portuguesa existem dois tipos de rádio solo-

comboio: com transmissão de dados e sem transmissão de dados. Há ainda o sistema GSM-R, que não sendo um sistema rádio solo-comboio, também permite a comunicação por voz. Na Figura 54 do Anexo-A é apresentado o mapa com os sistemas de rádio solo-comboio usados nas linhas nacionais.

- Rádio solo-comboio com transmissão de dados: este sistema de comunicações para controlo de circulação é efetuado através de fonia e de transmissão de dados ligados ao Convel, estabelecendo-se o contacto entre o maquinista e o centro de comando ou vice-versa, sendo usado em 1483,4 km.
- Rádio solo-comboio sem transmissão de dados: este é um sistema de comunicações que, ao contrário do anterior, apenas permite a comunicação por voz, mas não permite transmissão de dados e é apenas utilizado na Linha de Cascais, em 25,4km.
- GSM-R: não sendo um sistema de rádio solo-comboio, é, no entanto, um sistema de comunicações digitais por rádio, em ambiente ferroviário baseado no sistema padrão GSM (Global Mobile System) Público, que permite a comunicação por voz. Este sistema é somente utilizado nos troços entre Vendas Novas e Casa Branca da Linha do Alentejo e na Linha de Évora (Casa Branca – Évora).

3.3. Material circulante em Portugal

No final de 2012, o parque ferroviário era constituído por 442 veículos de tração, entre eles, 85 locomotivas *diesel*, 99 locomotivas elétricas, 56 automotoras *diesel* e 202 automotoras elétricas. Estes números representam, relativamente ao ano anterior, um acréscimo relevante no número de veículos de tração, apresentando uma subida de mais 15,1%, em particular no número de automotoras *diesel*, que aumentou 64,7%. Também o número de vagões aumentou neste ano, quer para transporte de mercadorias, quer para transporte de passageiros, tendo-se registado um aumento de 2,6% e 2,8% respetivamente (Instituto Nacional de Estatística, 2014).

O material circulante na rede ferroviária portuguesa pode ser dividido em seis tipos de comboios dependendo do tipo de serviço que efetuam, os quais se identificam de seguida:

- Tipos de serviço na rede ferroviária nacional

- Internacionais: tal como o nome indica, correspondem aos comboios que têm origem ou destino noutra país, representando uma percentagem muito baixa, de 0,1% do número total de passageiros transportados em 2012.
- Longa distância/Intercidades: as ligações de longa distância referem-se aos comboios que fazem as ligações entre as principais cidades do país.
- Regionais: as ligações regionais são serviços prestados por toda a rede, a uma velocidade baixa, com paragens num elevado número de estações, de maneira a servir populações mais pequenas.
- Urbanos: os comboios Urbanos pretendem fazer a ligação dos grandes centros Urbanos como Lisboa e Porto e as suas áreas suburbanas, sendo este o tipo de serviço que efetua o transporte da grande percentagem de passageiros em Portugal, correspondendo a 89,3% do total de passageiros que circularam em 2012, segundo os dados do Instituto Nacional de Estatística.
- Carga: nos comboios de carga inclui-se todo o tipo de mercadoria transportada por via-férrea, tais como areia, minério, madeira, cimento, carvão, aço, entre outros.
- Vazios: na classe dos comboios vazios incluem-se os comboios movimentados pelas operadoras sem uso comercial, mas apenas para gestão do material circulante.

No Anexo-B encontra-se com mais pormenor a descrição do material circulante atualmente em funcionamento. Por vezes, no transporte de mercadorias, a velocidade de um comboio não se encontra limitada somente pela infraestrutura e pela locomotiva em uso, também o tipo de vagões que efetua o transporte pode influenciar a velocidade máxima de circulação desse comboio. A circulação de alguns vagões na infraestrutura pode também, em algumas linhas, estar limitada pela sua capacidade de carga. Por essa razão, apresentam-se no Anexo-B os principais vagões utilizados em Portugal.

4. ESTUDOS DE CASO

O presente capítulo pretende expor o estudo da capacidade segundo as recomendações da ficha UIC 406 realizado para três linhas da rede ferroviária nacional: Linha do Norte (entre as estações de Aveiro e Porto (Campanhã)); Ramal do Porto de Aveiro e Linha do Vouga. Em todos os três casos, tentou-se seguir ao máximo as recomendações da ficha UIC 406 nomeadamente da divisão da rede em troços, no entanto, em certas situações foi necessário proceder a algumas simplificações que serão apresentadas de seguida. As simplificações adotadas específicas apenas de cada estudo de caso encontram-se descritas na apresentação de cada estudo de caso.

Tal como é a apresentado no segundo capítulo, para avaliar a capacidade da rede seria necessário conhecer o material circulante e as suas características, no entanto, essa informação é mais relevante quando se pretende introduzir um novo comboio ou quando se pretende fazer uma simulação do funcionamento da rede (através de software também apresentado no segundo capítulo). Visto que nos três estudos de caso a avaliação foi feita recorrendo aos horários já existentes dos comboios, não foi necessário saber as características dos mesmos, contudo, foi feito um levantamento do material circulante em atividade, sendo apresentado no Anexo-B o resultado do mesmo. Este levantamento apresenta apenas algumas características relativas às automotoras, locomotivas e vagões usados em Portugal.

A metodologia usada nos estudos de caso seguiu de um modo geral a seguinte ordem de trabalhos:

- Levantamento do horário já existente na linha, havendo necessidade no caso particular da Linha do Norte de fazer uma estimativa dos tempos de passagens de certos comboios em estações onde estes não efetuam paragem.
- Divisão da linha em troços, dissecando a linha nas estações onde é possível o cruzamento de comboios no caso de se estudarem linhas simples (Linha do Vouga e Ramal do Porto de Aveiro) ou ultrapassagem de comboios quando se analisa uma linha dupla (Linha do Norte).
- Compressão do horário para determinada janela de tempo (nas horas de ponta ou para 24h) de modo que os tempos que separam dois comboios consecutivos sejam mínimos.
- Determinação do valor da capacidade usada fazendo a comparação entre os valores obtidos na compressão do horário inflacionados com um fator de

segurança e a janela de tempo que se encontra em análise tal como foi apresentado no segundo capítulo.

4.1. Estudo de Caso nº1: Linha do Norte

O estudo tem particular interesse na medida em que a Linha do Norte se apresenta como a espinha dorsal da rede ferroviária nacional por onde circula o maior número de passageiros e comboios de cargas, já que é a linha que assegura a ligação entre o norte e o sul do país e entre os dois grandes centros Urbanos portugueses, de Lisboa e Porto.

O estudo foi realizado para este troço, pois tem como objetivo averiguar a capacidade utilizada, sabendo que neste troço circulam comboios Urbanos que asseguram a ligação entre o grande centro urbano da cidade do Porto e as cidades circundantes, sendo este um importante meio de transporte para as pessoas se deslocarem diariamente para os seus trabalhos no centro urbano. Neste tipo de serviço, é de notar que alguns comboios apenas fazem a ligação Porto – Granja e Porto – Ovar, o que provoca um maior congestionamento nos troços mais próximos da cidade do Porto.

O cálculo da capacidade usada foi realizado em dois momentos distintos, nas horas de ponta, e para um período de vinte e quatro horas, para que fosse possível verificar se a capacidade usada se encontrava muito concentrada nas horas de ponta, ou se, pelo contrário, se encontrava distribuída pelas 24h.

Neste estudo não foram, no entanto, consideradas eventuais paragens ou obstruções à circulação na linha devidas à manutenção da mesma.

É também importante ter em conta que neste estudo não foi considerada a possibilidade da circulação de comboios em contra via, ou seja, não foi tida em consideração a utilização, em certos troços, das duas linhas por comboios no mesmo sentido. A circulação de comboios em contra via, é útil em certos períodos do dia onde o movimento de comboios se realize essencialmente num dos sentidos e permite que os comboios mais rápidos ultrapassem comboios mais lentos sem que estes tenham de parar em estações ou locais que com mais que duas linhas. Sendo de salientar que esta simplificação pode ter uma pequena influência nos resultados obtidos no que concerne a capacidade usada.

O primeiro passo no estudo da capacidade, tal como foi dito no capítulo 2, começa com o levantamento da infraestrutura existente, levantamento esse que já se encontra exposto no capítulo 3. Procede-se então, desde já, à exposição do segundo passo no estudo da capacidade.

- Levantamento dos horários:

Como os horários não são constantes, havendo por exemplo comboios de passageiros suprimidos ao fim de semana e comboios de carga que podem também não ser constantes de dia para dia, optou-se por escolher, dentro de uma semana de cinco dias úteis, de 31 de Março de 2014 a 4 de Abril de 2014, o dia em que o número de comboios de carga foi superior, sendo o número de comboios de passageiros constante nessa semana. O dia determinado para este estudo foi uma quinta-feira, dia 3 de Abril de 2014.

Após observações, notou-se que os comboios Urbanos têm tempos de paragem compreendidos entre os 25 e os 45 segundos, e os comboios Intercidades e Alfa Pendular entre um e dois minutos, podendo ser maiores em algumas estações, no entanto, sabendo a hora de partida dos comboios de cada estação, admitiu-se um tempo de paragem de um minuto para os comboios Urbanos e dois minutos para os comboios Intercidades e Alfa Pendular. Para que fosse possível calcular a capacidade nos troços definidos, foi necessário fazer uma estimativa dos tempos de passagem de muitos comboios, principalmente Intercidades, Alfa Pendular e comboios de Carga nas estações onde estes não realizam paragens. Sabendo a hora de partida, a hora de chegada de cada comboio, a distância entre a estação inicial e final e a distância das estações intermédias, fez-se uma média ponderada dos tempos de passagem nas estações intermédias, por exemplo, para um comboio com partida de Porto (Campanhã) e chegada a Aveiro, obteve-se o tempo nas estações intermédias da seguinte forma:

$$TI = \frac{(TF - TIn) * (kmF - kmIn)}{(kmF - kmI)} + TIn \quad (2)$$

Em que:

TI = Hora na estação intermédia

TIn = Hora inicial (de partida)

TF = Hora final (de chegada)

kmIn = Quilómetro da estação inicial

kmI = Quilómetro da estação intermédia

kmF = Quilómetro da estação final

As tabelas dos horários encontram-se no Anexo-C.

A Tabela 5 mostra o valor da soma de comboios a circular entre Aveiro e Porto (Campanhã) conforme o tipo de comboio e a sua hora de partida. É de ter em conta que o

número total de comboios nesta tabela não é o mesmo número de troço para troço, já que há bastantes comboios que não realizam todo o trajeto entre Aveiro e Porto. Como se pode verificar na Tabela 5, existem dois períodos de ponta: das 7h às 10h e das 16h às 19h. Para este estudo de caso, o estudo da capacidade para a hora de ponta foi feito para o período entre as 16h e as 19h. Não foi considerada, para este estudo, a movimentação de comboios vazios, dado que não têm grande influência na capacidade e podem ser movimentados nas horas de menos tráfego.

Tabela 5. Comboios entre Aveiro e Porto (Campanhã)

Horas	Sentido Sul - Norte					Sentido Norte - Sul					Ambos os sentidos				
	Urbanos	IC	Alfa	Carga	Total	Urbanos	IC	Alfa	Carga	Total	Urbanos	IC	Alfa	Carga	Total
00h-01h	1	1	0	2	4	3	0	0	1	4	4	1	0	3	8
01h-02h	0	0	0	3	3	0	0	0	3	3	0	0	0	6	6
02h-03h	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
03h-04h	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	2	2
04h-05h	1	0	0	2	3	0	0	0	1	1	1	0	0	3	4
05h-06h	1	1	0	0	2	1	0	1	1	3	2	1	1	1	5
06h-07h	3	0	0	1	4	3	1	1	2	7	6	1	1	3	11
07h-08h	4	0	0	1	5	5	0	1	1	7	9	0	1	2	12
08h-09h	5	0	1	2	8	5	1	0	0	6	10	1	1	2	14
09h-10h	5	0	1	0	6	3	0	1	1	5	8	0	2	1	11
10h-11h	2	1	1	2	6	2	1	0	1	4	4	2	1	3	10
11h-12h	1	0	0	0	1	2	0	1	0	3	3	0	1	0	4
12h-13h	2	1	1	2	6	5	1	0	0	6	7	2	1	2	12
13h-14h	4	0	0	1	5	5	0	1	2	8	9	0	1	3	13
14h-15h	4	1	1	1	7	2	1	0	0	3	6	2	1	1	10
15h-16h	2	0	0	4	6	2	0	1	1	4	4	0	1	5	10
16h-17h	3	0	1	1	5	5	1	1	1	8	8	1	2	2	13
17h-18h	5	0	0	2	7	5	0	0	1	6	10	0	0	3	13
18h-19h	5	1	1	0	7	5	0	1	1	7	10	1	2	1	14
19h-20h	5	1	1	1	8	4	1	0	0	5	9	2	1	1	13
20h-21h	2	1	1	1	5	1	0	1	2	4	3	1	2	3	9
21h-22h	1	0	1	0	2	1	0	0	2	3	2	0	1	2	5
22h-23h	1	1	1	0	3	1	1	0	1	3	2	2	1	1	6
23h-24h	0	0	0	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0	4	4
	57	9	11	29	106	60	8	10	26	104	117	17	21	55	210

- Divisão da linha

Tal como é explicado no capítulo 2, não é possível realizar o estudo da capacidade em troços longos, devendo a rede ser dividida. Para este estudo, dividiu-se a linha em quatro troços: Porto (Campanhã) – Gaia (Devesas); Gaia (Devesas) – Granja; Granja – Ovar; Ovar – Aveiro.

Pretendia-se, desta forma, dividir a rede nas estações principais entre Aveiro e Porto, no entanto, notou-se que muitos comboios Urbanos fazem apenas a ligação entre Granja e Porto

(Campanhã), portanto houve a necessidade de dividir também a rede na estação de Granja. Caso esta divisão não fosse feita, seria mais complicada a compressão do horário entre Espinho e Gaia (Devesas) o que teria influência no valor da capacidade usada.

○ Porto (Campanhã) – Gaia (Devesas)

A distância entre Porto (Campanhã) e Gaia (Devesas) é um troço com apenas 3,840 km, ainda com uma estação onde os comboios Urbanos efetuam paragem, Gaia (General Torres) e observando a Tabela 6 pode perceber-se que existem dois períodos de ponta, a saber, entre as 7h e as 10h e entre as 16h e as 19h. Estes períodos de ponta bem visíveis devem-se ao facto do tipo de comboio predominante neste troço ser o comboio urbano como se vê na Figura 13 e Figura 14. Estes períodos de ponta são caraterísticos de linhas onde o tráfego de comboios Urbanos é elevado, pois está relacionado com a hora de entrada e saída dos passageiros dos respetivos empregos.

Tabela 6. Comboios entre Porto (Campanhã) e Gaia (Devesas)

Horas	Sentido Sul - Norte					Sentido Norte - Sul					Ambos os sentidos				
	Urbanos	IC	Alfa	Carga	Total	Urbanos	IC	Alfa	Carga	Total	Urbanos	IC	Alfa	Carga	Total
00h-01h	1	1	0	0	2	2	0	0	0	2	3	1	0	0	4
01h-02h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02h-03h	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
03h-04h	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
04h-05h	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	2	2
05h-06h	1	0	0	0	1	1	0	1	1	3	2	0	1	1	4
06h-07h	1	1	0	0	2	3	1	1	1	6	4	2	1	1	8
07h-08h	3	0	0	1	4	5	0	1	0	6	8	0	1	1	10
08h-09h	5	0	1	1	7	5	1	0	0	6	10	1	1	1	13
09h-10h	5	0	1	0	6	3	0	1	0	4	8	0	2	0	10
10h-11h	4	1	1	0	6	2	1	0	0	3	6	2	1	0	9
11h-12h	2	0	0	1	3	2	0	1	0	3	4	0	1	1	6
12h-13h	1	1	1	0	3	5	1	0	0	6	6	2	1	0	9
13h-14h	3	0	0	2	5	5	0	1	1	7	8	0	1	3	12
14h-15h	4	1	1	0	6	2	1	0	0	3	6	2	1	0	9
15h-16h	3	0	0	1	4	2	0	1	1	4	5	0	1	2	8
16h-17h	2	0	1	3	6	5	1	1	0	7	7	1	2	3	13
17h-18h	4	0	0	2	6	5	0	0	1	6	9	0	0	3	12
18h-19h	5	1	1	0	7	5	0	1	1	7	10	1	2	1	14
19h-20h	5	0	1	0	6	4	1	0	0	5	9	1	1	0	11
20h-21h	4	2	1	0	7	1	0	1	2	4	5	2	2	2	11
21h-22h	2	0	1	0	3	1	0	0	1	2	3	0	1	1	5
22h-23h	1	1	1	0	3	1	1	0	0	2	2	2	1	0	5
23h-24h	1	0	0	0	1	1	0	0	2	3	2	0	0	2	4
	57	9	11	15	92	60	8	10	12	90	117	17	21	27	182

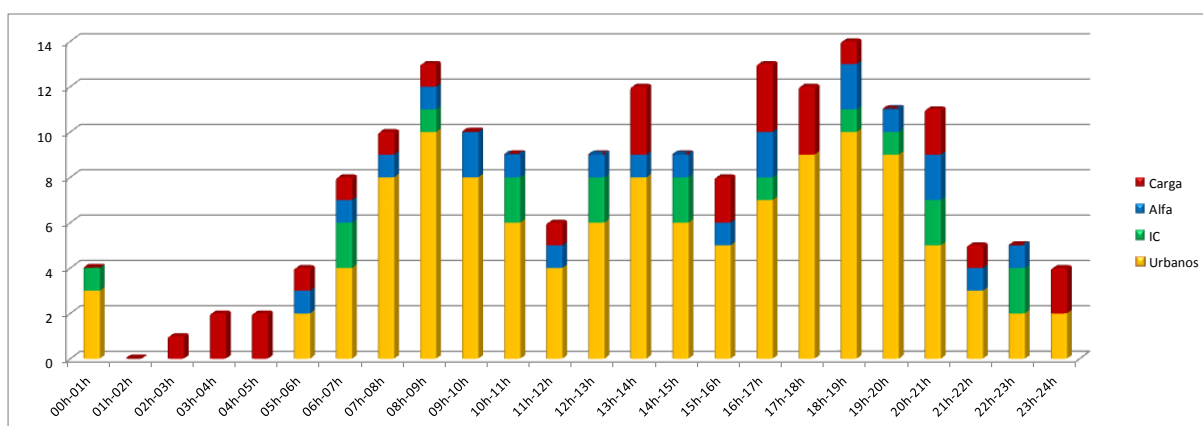


Figura 13. Distribuição dos tipos de comboios ao longo do dia entre Porto (Campanhã) e Gaia (Devesas)

Urbanos	64,3 %
IC	9,3 %
Alfa	11,5 %
Carga	14,8 %
	100,0 %

Figura 14. Percentagem dos tipos de comboios entre Porto (Campanhã) e Gaia (Devesas)

○ Gaia (Devesas) – Granja

Este é um troço com 11,845 km onde, de acordo com as tabelas seguintes, ainda se verifica o fator de ponta devido à grande percentagem de comboios Urbanos. A rede foi dividida na estação de Granja devido ao facto de alguns comboios Urbanos apenas fazerem a ligação entre esta estação e Porto (Campanhã).

Tabela 7. Comboios entre Gaia (Devesas) e Granja

Horas	Sentido Sul - Norte					Sentido Norte - Sul					Ambos os sentidos				
	Urbanos	IC	Alfa	Carga	Total	Urbanos	IC	Alfa	Carga	Total	Urbanos	IC	Alfa	Carga	Total
00h-01h	1	1	0	0	2	1	0	0	0	1	2	1	0	0	3
01h-02h	0	0	0	2	2	1	0	0	2	3	1	0	0	4	5
02h-03h	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
03h-04h	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	2	2
04h-05h	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	2	2
05h-06h	1	0	0	0	1	1	0	1	1	3	2	0	1	1	4
06h-07h	1	1	0	0	2	2	1	1	1	5	3	2	1	1	7
07h-08h	5	0	0	0	5	5	0	1	0	6	10	0	1	0	11
08h-09h	4	0	1	0	5	5	1	0	0	6	9	1	1	0	11
09h-10h	5	0	1	0	6	3	0	1	0	4	8	0	2	0	10
10h-11h	3	1	1	0	5	3	1	0	0	4	6	2	1	0	9
11h-12h	2	0	0	1	3	2	0	1	0	3	4	0	1	1	6
12h-13h	1	1	1	0	3	4	1	0	0	5	5	2	1	0	8
13h-14h	4	0	0	2	6	5	0	1	1	7	9	0	1	3	13
14h-15h	4	1	1	0	6	3	1	0	0	4	7	2	1	0	10
15h-16h	2	0	0	2	4	2	0	1	0	3	4	0	1	2	7
16h-17h	2	0	1	3	6	4	1	1	0	6	6	1	2	3	12
17h-18h	5	0	0	0	5	5	0	0	1	6	10	0	0	1	11
18h-19h	5	1	1	0	7	5	0	1	1	7	10	1	2	1	14
19h-20h	5	0	1	0	6	4	1	0	0	5	9	1	1	0	11
20h-21h	4	2	1	0	7	2	0	1	0	3	6	2	2	0	10
21h-22h	1	0	1	0	2	1	0	0	2	3	2	0	1	2	5
22h-23h	1	1	1	0	3	1	1	0	0	2	2	2	1	0	5
23h-24h	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	2	0	0	0	2
	57	9	11	14	91	60	8	10	11	89	117	17	21	25	180

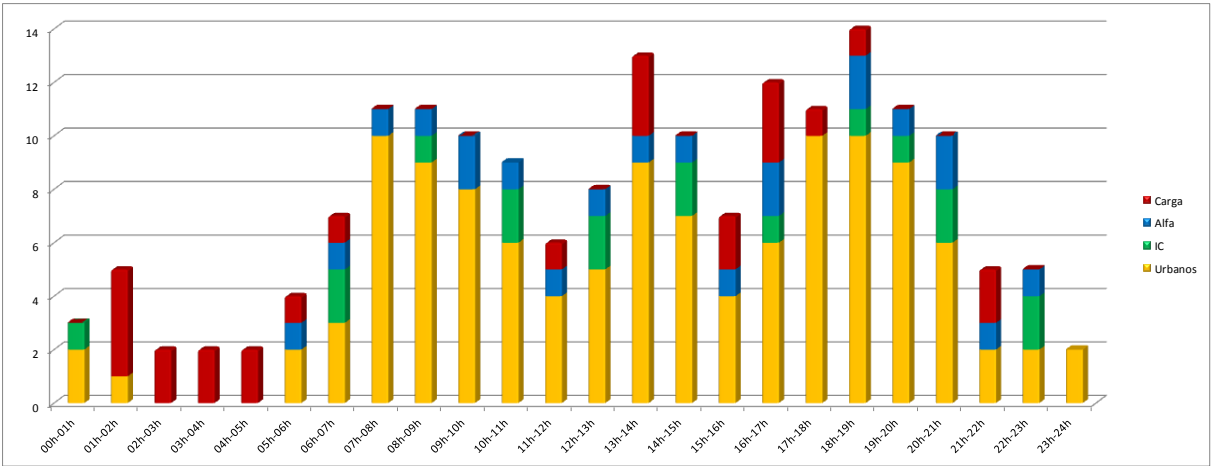


Figura 15. Distribuição dos tipos de comboio ao longo do dia entre Gaia (Devesas) e Granja

Urbanos	65,0 %
IC	9,4 %
Alfa	11,7 %
Carga	13,9 %
	100,0 %

Figura 16. Percentagem dos tipos de comboios entre Gaia (Devesas) e Granja

○ Granja – Ovar

Este trajeto refere-se a um troço com 19,618 km, com as estações intermédias de Esmoriz e Espinho. Este troço é caracterizado por possuir um elevado número de comboios Urbanos que fazem a ligação entre Ovar e Porto (Campanhã) e ainda pelo fato de muitos dos comboios Intercidades efetuarem paragens a rondar os dois minutos na estação de Espinho. A paragem dos comboios Intercidades em Espinho tem particular importância na medida em que esta estação apresenta apenas duas linhas.

Tabela 8. Comboios entre Granja e Ovar

Horas	Sentido Sul - Norte					Sentido Norte - Sul					Ambos os sentidos				
	Urbanos	IC	Alfa	Carga	Total	Urbanos	IC	Alfa	Carga	Total	Urbanos	IC	Alfa	Carga	Total
00h-01h	1	1	0	1	3	1	0	0	0	1	2	1	0	1	4
01h-02h	0	0	0	2	2	1	0	0	2	3	1	0	0	4	5
02h-03h	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
03h-04h	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
04h-05h	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
05h-06h	2	0	0	0	2	1	0	1	1	3	3	0	1	1	5
06h-07h	2	1	0	0	3	2	0	1	2	5	4	1	1	2	8
07h-08h	5	0	0	0	5	4	1	1	0	6	9	1	1	0	11
08h-09h	3	0	1	0	4	4	0	0	0	4	7	0	1	0	8
09h-10h	4	0	1	0	5	3	1	1	0	5	7	1	2	0	10
10h-11h	3	1	1	0	5	3	0	0	0	3	6	1	1	0	8
11h-12h	1	0	0	1	2	2	1	1	0	4	3	1	1	1	6
12h-13h	1	1	1	1	4	3	0	0	0	3	4	1	1	1	7
13h-14h	3	0	0	1	4	4	1	1	1	7	7	1	1	2	11
14h-15h	4	1	1	1	7	3	0	0	0	3	7	1	1	1	10
15h-16h	2	0	0	1	3	2	1	1	0	4	4	1	1	1	7
16h-17h	2	0	1	3	6	3	0	1	0	4	5	0	2	3	10
17h-18h	4	0	0	0	4	4	1	0	1	6	8	1	0	1	10
18h-19h	4	1	1	0	6	4	0	1	0	5	8	1	2	0	11
19h-20h	4	0	1	0	5	4	0	0	1	5	8	0	1	1	10
20h-21h	3	2	1	0	6	2	1	1	0	4	5	3	2	0	10
21h-22h	1	0	1	0	2	1	0	0	2	3	2	0	1	2	5
22h-23h	1	1	1	0	3	1	1	0	0	2	2	2	1	0	5
23h-24h	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1
	50	9	11	14	84	53	8	10	11	82	103	17	21	25	166

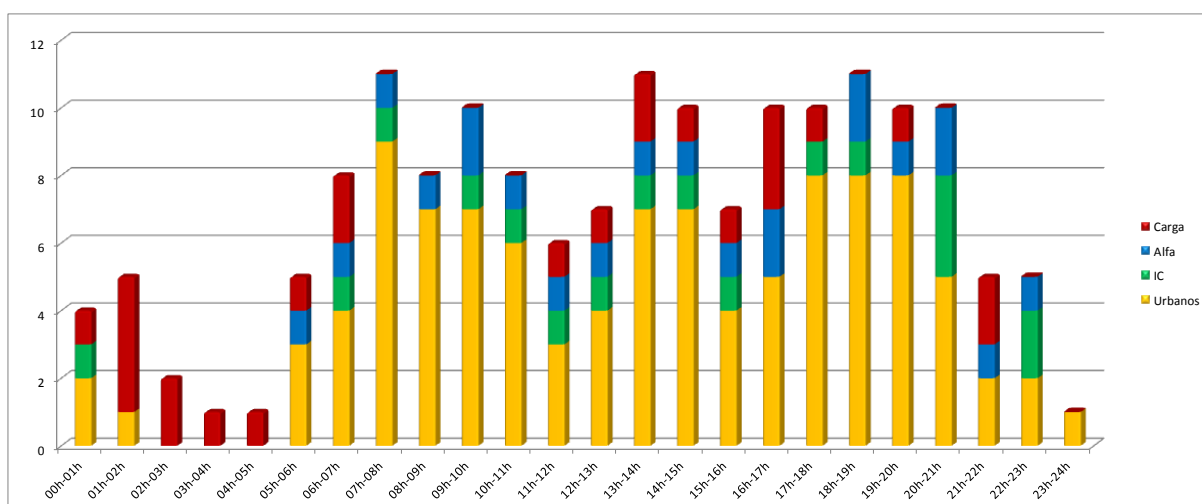


Figura 17. Distribuição dos tipos de comboios ao longo do dia entre Granja e Ovar

Urbanos	62,0 %
IC	10,2 %
Alfa	12,7 %
Carga	15,1 %
	100,0 %

Figura 18. Percentagem dos tipos de comboios entre Granja e Ovar

○ Ovar – Aveiro

Neste troço com 28,100 km, há dois pontos importantes a considerar: por um lado, já não há tantos comboios como no troço Granja – Ovar, por outro lado, há pontos intermédios que são relevantes, como sejam a estação de Estarreja, onde, além dos comboios Urbanos, alguns comboios Intercidades e Alfa Pendular também podem efetuar paragens e a Plataforma Logística Portuária de Cacia, a 3,573 km da estação de Aveiro, onde os serviços de carga fazem a ligação ao Ramal do Porto de Aveiro. Devido ao menor número de comboios Urbanos em relação ao troço Granja – Ovar e devido ao número de comboios de Carga que circulam entre a Plataforma de Cacia e a estação de Aveiro, a percentagem de comboios de carga em relação ao total de comboios sobe quando comparada com os outros troços, tal como se pode verificar na Tabela 9. Entre Ovar e Aveiro, 32,4% do tráfego ferroviário corresponde a comboios de carga, enquanto a percentagem de Urbanos é agora de 41,4%. Estes números refletem-se nos horários com uma redução da diferença entre as horas de ponta e as restantes horas do dia, havendo uma maior distribuição do número de comboios ao longo do dia, como se pode verificar na Figura 19 e Figura 20.

Tabela 9. Comboios entre Ovar e Aveiro

Horas	Sentido Sul - Norte					Sentido Norte - Sul					Ambos os sentidos				
	Urbanos	IC	Alfa	Carga	Total	Urbanos	IC	Alfa	Carga	Total	Urbanos	IC	Alfa	Carga	Total
00h-01h	0	1	0	2	3	2	0	0	1	3	2	1	0	3	6
01h-02h	0	0	0	3	3	1	0	0	1	2	1	0	0	4	5
02h-03h	0	0	0	1	1	0	0	0	2	2	0	0	0	3	3
03h-04h	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
04h-05h	1	0	0	2	3	0	0	0	1	1	1	0	0	3	4
05h-06h	1	1	0	0	2	1	0	0	1	2	2	1	0	1	4
06h-07h	2	0	0	1	3	1	0	1	3	5	3	0	1	4	8
07h-08h	2	0	0	0	2	2	1	1	1	5	4	1	1	1	7
08h-09h	2	0	1	1	4	2	0	1	0	3	4	0	2	1	7
09h-10h	2	0	1	0	3	2	1	0	1	4	4	1	1	1	7
10h-11h	1	1	1	2	5	2	0	1	1	4	3	1	2	3	9
11h-12h	1	0	0	0	1	1	1	0	0	2	2	1	0	0	3
12h-13h	1	1	1	2	5	1	0	1	0	2	2	1	2	2	7
13h-14h	2	0	0	1	3	2	1	0	2	5	4	1	0	3	8
14h-15h	1	1	1	1	4	2	0	1	0	3	3	1	2	1	7
15h-16h	1	0	0	4	5	1	1	0	0	2	2	1	0	4	7
16h-17h	2	0	1	0	3	1	0	1	1	3	3	0	2	1	6
17h-18h	2	0	0	1	3	2	1	1	0	4	4	1	1	1	7
18h-19h	2	1	1	0	4	2	0	0	1	3	4	1	1	1	7
19h-20h	2	1	1	1	5	2	0	1	1	4	4	1	2	2	9
20h-21h	1	1	1	1	4	2	1	0	0	3	3	2	1	1	7
21h-22h	1	0	1	0	2	1	0	1	3	5	2	0	2	3	7
22h-23h	1	1	1	0	3	1	1	0	1	3	2	2	1	1	6
23h-24h	1	0	0	2	3	0	0	0	0	0	1	0	0	2	3
	29	9	11	25	74	31	8	10	22	71	60	17	21	47	145

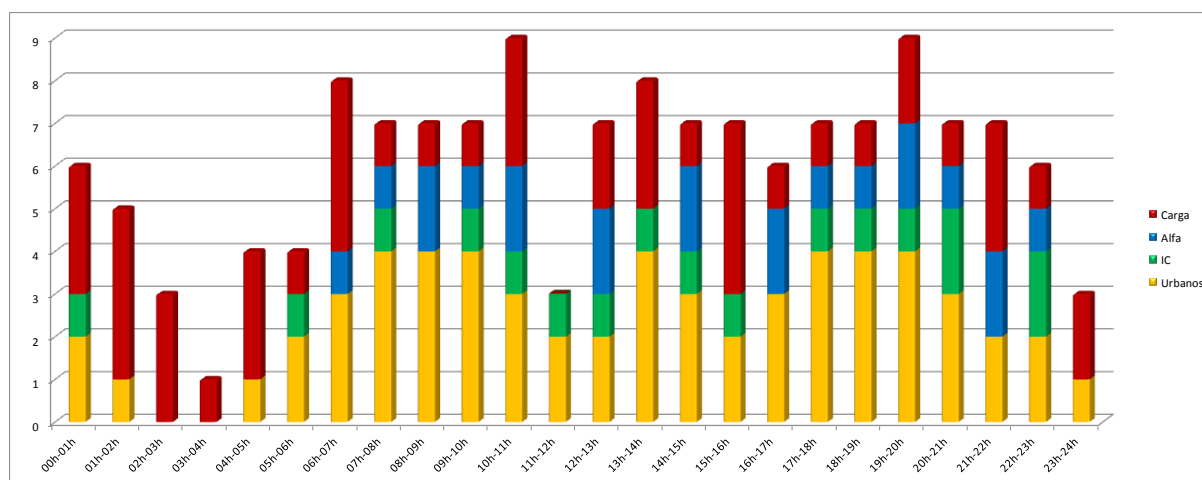


Figura 19. Distribuição dos tipos de comboios ao longo do dia entre Ovar e Aveiro

Urbanos	41,4 %
IC	11,7 %
Alfa	14,5 %
Carga	32,4 %
	100,0 %

Figura 20. Percentagem dos tipos de comboios entre Ovar e Aveiro

- Compressão dos horários

No que concerne a compressão dos horários, esta pode ser feita analítica ou graficamente. Para este trabalho, optou-se pela forma analítica, quer para as horas de ponta, quer para a janela de tempo de vinte e quatro horas, sendo também realizados os diagramas espaço-tempo para as horas de ponta.

Sendo os resultados obtidos pela forma analítica, os diagramas espaço-tempo apresentam simplificações dado que não são apresentadas todas as paragens dos comboios Urbanos (nomeadamente em apeadeiros). No entanto a inclinação da linha respeitante a cada comboio no diagrama, que traduz a velocidade deste, já tem em conta as paragens efetuadas que não se encontram representadas nos diagramas.

Não sendo possível obter todos os dados da infraestrutura para este trabalho, sabendo que o tempo mínimo que separa dois comboios consecutivos depende do tipo e comprimento do comboio e da extensão do cantão, foi admitido, neste trabalho, que dois comboios consecutivos, a circular na mesma linha e no mesmo sentido, necessitavam de ter um intervalo de três minutos entre eles. No caso de um comboio Urbano seguido de um mais rápido como um Alfa Pendular, a diferença de três minutos foi considerada para a estação de chegada. Pelo contrário, quando um comboio lento parte após um com comboio rápido, a diferença de três minutos é considerada na estação de partida. No final deste estudo de caso é também apresentada uma tabela com os resultados da capacidade para diferentes tempos de separação entre dois comboios consecutivos com o objetivo de verificar qual a influência destes tempos na capacidade. Os tempos de separação entre comboios consecutivos podem ser alterados através mudança no espaçamento dos sinais (distância de cantonamento), no entanto estas alterações têm também influência nas velocidades que os comboios podem praticar, na medida em que quanto maior for o espaçamento, maior é a velocidade a que o comboio pode circular.

- Compressão nas horas de ponta

- Porto (Campanhã) – Gaia (Devesas)

Na Tabela 10 encontra-se o horário dos comboios no sentido Sul – Norte, ainda sem compressão. As colunas à direita da tabela, que não se encontram limitadas por linhas, são apenas colunas auxiliares para facilitar a contagem do número de comboios e a sua representação gráfica e indicam, respetivamente, o número do comboio (em nada relacionada com a numeração utilizada pelos operadores), a letra inicial do tipo de serviço do comboio, a hora de partida e por último a conjugação destes dois últimos. A compressão do horário para o sentido Sul – Norte encontra-se ilustrada na Tabela 11.

Tabela 10. Horário de comboios entre Gaia (Devesas) e Porto (Campanhã) nas horas de ponta

Sentido Sul - Norte									
Gaia (Devesas)			Gaia (Gen. Torres)		Porto (Campanhã)				
Km	332,239	332,239	333,342	333,342	336,079	336,079			
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora
Carga	16:00	16:50			16:52	16:52	61	C	16 C16
Urb	16:09	16:10	16:11	16:12	16:16		62	U	16 U16
Urb	16:24	16:25	16:26	16:27	16:30		63	U	16 U16
C	16:25	17:55			17:57	17:57	64	C	17 C17
C	16:35	16:35			16:40	16:40	66	C	16 C16
Alfa	16:37	16:39			16:46		67	A	16 A16
C		16:52			16:56	16:56	68	C	16 C16
Urb	17:09	17:10	17:11	17:12	17:16		69	U	17 U17
Urb	17:19	17:20	17:21	17:22	17:25		70	U	17 U17
Urb	17:24	17:25	17:26	17:27	17:30		71	U	17 U17
Urb	17:28	17:29	17:31	17:32	17:35		72	U	17 U17
C		17:50			17:52	17:52	74	C	17 C17
Urb	18:04	18:05	18:06	18:07	18:11		75	U	18 U18
Urb	18:09	18:10	18:11	18:12	18:16		76	U	18 U18
Urb	18:19	18:20	18:21	18:22	18:25		77	U	18 U18
Urb	18:24	18:25	18:26	18:27	18:30		78	U	18 U18
Urb	18:28	18:29	18:31	18:32	18:35		79	U	18 U18
IC	18:31	18:33			18:39		80	I	18 I18
Alfa	18:37	18:39			18:46		81	A	18 A18

Tabela 11. Compressão do horário Gaia-Porto no sentido Sul – Norte

Sentido Sul - Norte (Compressão do horário)									
Gaia (Devesas)			Gaia (Gen. Torres)		Porto (Campanhã)				
Km	332,239	332,239	333,342	333,342	336,079	336,079			
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora
C		16:00			16:02		61	C	16 C16
Urb		16:03	16:04	16:05	16:09		62	U	16 U16
Urb		16:07	16:08	16:09	16:12		63	U	16 U16
C		16:12			16:15		64	C	16 C16
C		16:15			16:20		66	C	16 C16
Alfa		16:18			16:25		67	A	16 A16
C		16:23			16:28		68	C	16 C16
Urb		16:26	16:27	16:28	16:32		69	U	16 U16
Urb		16:30	16:31	16:32	16:35		70	U	16 U16
Urb		16:33	16:34	16:35	16:38		71	U	16 U16
Urb		16:36	16:38	16:39	16:42		72	U	16 U16
C		16:43			16:45		74	C	16 C16
Urb		16:46	16:47	16:48	16:52		75	U	16 U16
Urb		16:49	16:50	16:51	16:55		76	U	16 U16
Urb		16:53	16:54	16:55	16:58		77	U	16 U16
Urb		16:56	16:57	16:58	17:01		78	U	16 U16
Urb		16:59	17:01	17:02	17:05		79	U	16 U16
IC		17:02			17:08		80	I	17 I17
Alfa		17:05			17:12		81	A	17 A17

De seguida, apresentam-se os diagramas espaço-tempo originados pela compressão dos horários. Para facilitar a visualização e distinção dos comboios, a cor da linha indica o tipo de

comboio: verde para Intercidades, azul para Alfa Pendular, laranja para os Urbanos e vermelho para os comboios de Carga.

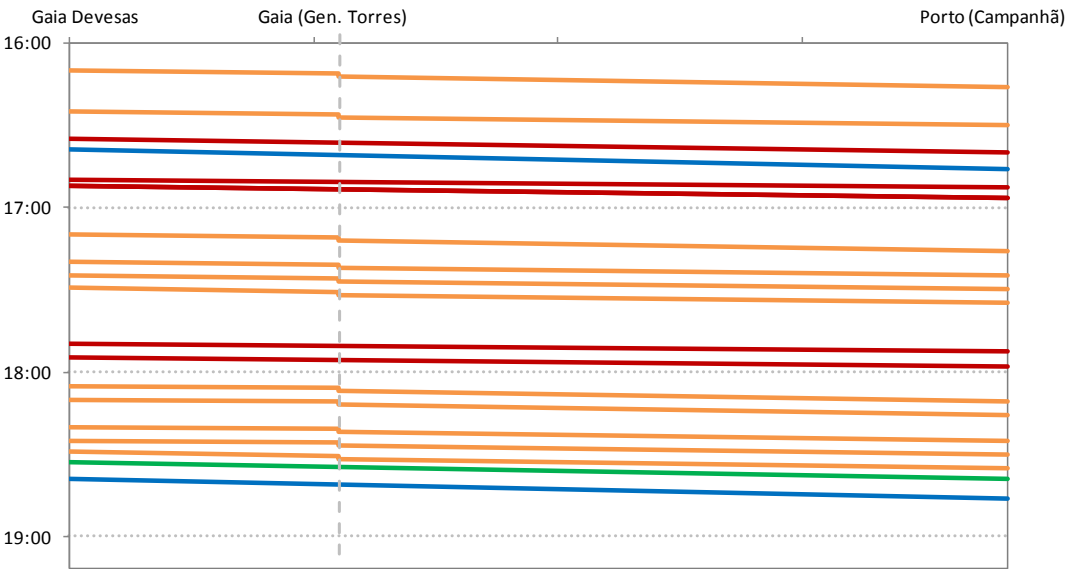


Figura 21. Diagrama espaço-tempo entre Gaia (Devesas) e Porto (Campanhã)

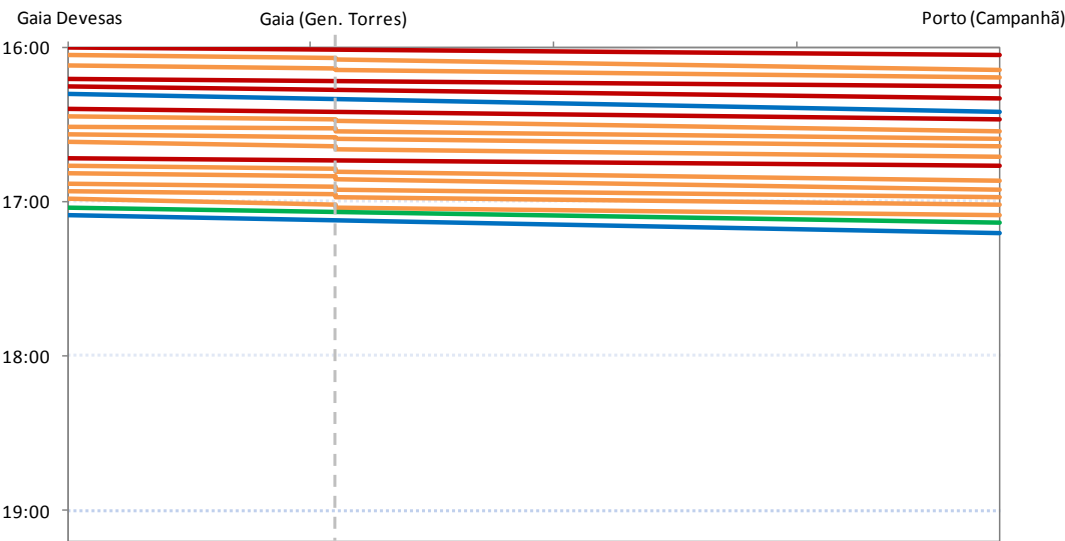


Figura 22. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Gaia (Devesas) e Porto (Campanhã)

Tabela 12. Cálculo da capacidade entre Gaia e Porto no sentido Sul - Norte

Janela de tempo (horas:minutos)	03:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	01:13
Fator de segurança (%)	25
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	01:32
Capacidade usada (%)	51,21

Do mesmo modo, foram realizados cálculos e diagramas para o sentido Norte – Sul, tal como se apresenta de seguida:

Tabela 13. Horário de comboios entre Porto (Campanhã) e Gaia (Devesas) nas horas de ponta

Sentido Norte - Sul										
	Porto (Campanhã)		Gaia (Gen. Torres)		Gaia (Devesas)					
Km	336,079	336,079	333,342	333,342	332,239	332,239				
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora	
Urb		16:00	16:03	16:04	16:05	16:06	66	U	16	U16
Urb		16:14	16:18	16:19	16:20	16:21	67	U	16	U16
Urb		16:19	16:23	16:24	16:25	16:26	68	U	16	U16
Urb		16:30	16:33	16:34	16:35	16:36	69	U	16	U16
Alfa		16:47			16:50	16:52	70	A	16	A16
IC		16:52			16:55	16:57	71	I	16	I16
Urb		16:55	16:59	17:00	17:01	17:02	72	U	16	U16
Urb		17:00	17:03	17:04	17:05	17:06	73	U	17	U17
Urb		17:14	17:18	17:19	17:20	17:21	74	U	17	U17
Urb		17:19	17:23	17:24	17:25	17:26	75	U	17	U17
Urb		17:30	17:33	17:34	17:35	17:36	76	U	17	U17
C	17:39	17:39			17:47	17:47	77	C	17	C17
Urb		17:55	17:59	18:00	18:01	18:02	79	U	17	U17
Urb		18:00	18:03	18:04	18:05	18:06	80	U	18	U18
Urb		18:14	18:18	18:19	18:20	18:21	81	U	18	U18
Urb		18:19	18:23	18:24	18:25	18:26	82	U	18	U18
Urb		18:30	18:33	18:34	18:35	18:36	83	U	18	U18
Alfa		18:47			18:50	18:52	84	A	18	A18
C	18:54	18:54			18:56	18:56	85	C	18	C18
Urb		18:55	18:59	19:00	19:01	19:02	86	U	18	U18

Tabela 14. Compressão do horário Porto - Gaia no sentido Norte - Sul

Sentido Norte - Sul (Compressão do horário)									
Porto (Campanhã)		Gaia (Gen. Torres)		Gaia (Devesas)					
Km	336,079	336,079	333,342	333,342	332,239	332,239			
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora
Urb		16:00	16:03	16:04	16:05		66	U	16 U16
Urb		16:03	16:07	16:08	16:09		67	U	16 U16
Urb		16:06	16:10	16:11	16:12		68	U	16 U16
Urb		16:10	16:13	16:14	16:15		69	U	16 U16
Alfa		16:15			16:18		70	A	16 A16
IC		16:18			16:21		71	I	16 I16
Urb		16:21	16:25	16:26	16:27		72	U	16 U16
Urb		16:25	16:28	16:29	16:30		73	U	16 U16
Urb		16:28	16:32	16:33	16:34		74	U	16 U16
Urb		16:31	16:35	16:36	16:37		75	U	16 U16
Urb		16:35	16:38	16:39	16:40		76	U	16 U16
C		16:38			16:45		77	C	16 C16
Urb		16:42	16:46	16:47	16:48		79	U	16 U16
Urb		16:46	16:49	16:50	16:51		80	U	16 U16
Urb		16:49	16:53	16:54	16:55		81	U	16 U16
Urb		16:52	16:56	16:57	16:58		82	U	16 U16
Urb		16:56	16:59	17:00	17:01		83	U	16 U16
Alfa		17:01			17:04		84	A	17 A17
C		17:04			17:07		85	C	17 C17
Urb		17:07	17:11	17:12	17:13		86	U	17 U17

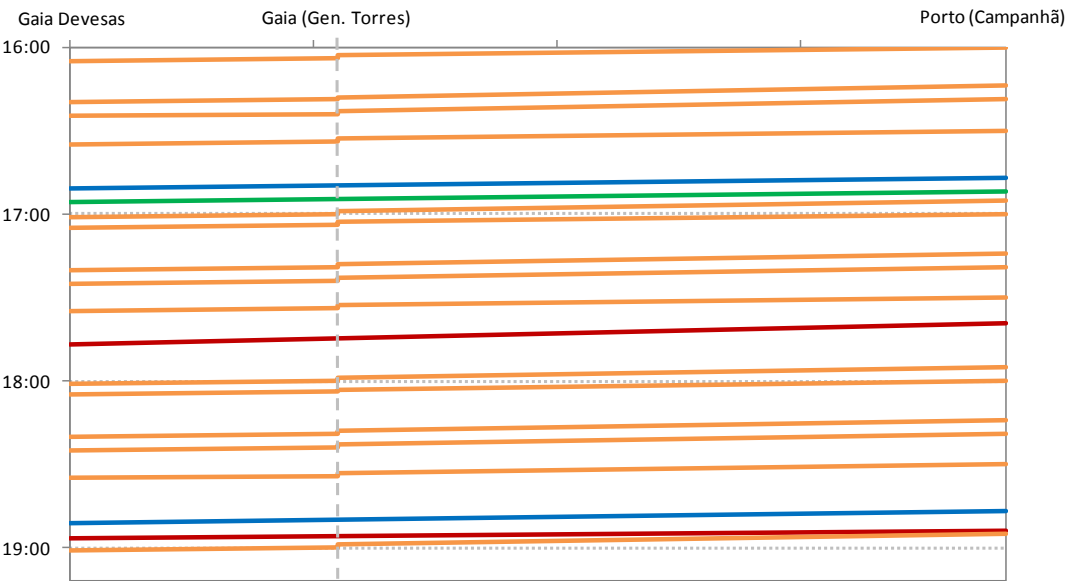


Figura 23. Diagrama espaço-tempo entre Porto (Campanhã) e Gaia (Devesas)

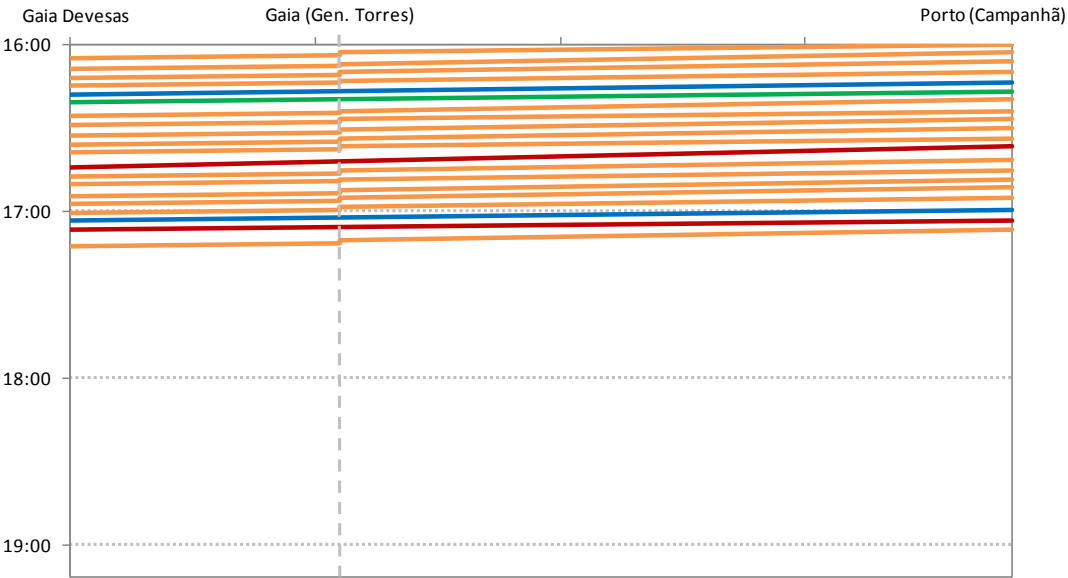


Figura 24. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Porto (Campanhã) e Gaia (Devesas)

Tabela 15. Cálculo da capacidade entre Porto e Gaia no sentido Norte - Sul

Janela de tempo (horas:minutos)	03:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	01:12
Fator de segurança (%)	25
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	01:30
Capacidade usada (%)	50,10

○ Gaia (Devesas) - Granja

Tabela 16. Horário de comboios entre Granja e Gaia (Devesas) nas horas de ponta

Sentido Sul - Norte									
Granja		Valadares		Gaia (Devesas)					
Km	320,394	320,394	327,8	327,8	332,239	332,239			
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora
Urb	15:59	16:00	16:04	16:05	16:09	16:10	62	U	16 U16
Urb	16:06	16:07	16:16	16:17	16:24	16:25	63	U	16 U16
C	16:16	16:16			16:25	17:55	64	C	16 C16
C	16:22	16:22			16:30		65	C	16 C16
C	16:27	16:27			16:35	16:35	66	C	16 C16
Alfa	16:32	16:32			16:37	16:39	67	A	16 A16
Urb	16:59	17:00	17:04	17:05	17:09	17:10	69	U	17 U17
Urb		17:02	17:12	17:13	17:19	17:20	70	U	17 U17
Urb	17:06	17:07	17:16	17:17	17:24	17:25	71	U	17 U17
Urb	17:19	17:19	17:24	17:25	17:28	17:29	72	U	17 U17
Urb	17:46	17:47	17:56	17:57	18:04	18:05	75	U	17 U17
Urb	17:59	18:00	18:04	18:05	18:09	18:10	76	U	18 U18
Urb		18:02	18:12	18:13	18:19	18:20	77	U	18 U18
Urb	18:06	18:07	18:16	18:17	18:24	18:25	78	U	18 U18
Urb	18:19	18:19	18:24	18:25	18:28	18:29	79	U	18 U18
IC	18:25	18:25			18:31	18:33	80	I	18 I18
Alfa	18:32	18:32			18:37	18:39	81	A	18 A18
Urb	18:46	18:47	18:56	18:57	19:04	19:05	82	U	18 U18

Tabela 17. Compressão do horário Granja - Gaia no sentido Sul - Norte

Sentido Sul - Norte (Compressão do horário)									
Granja		Valadares		Gaia (Devesas)					
Km	320,394	320,394	327,800	327,800	332,239	332,239			
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora
Urb		16:00	16:04	16:05	16:09		62	U	16 U16
Urb		16:03	16:12	16:13	16:20		63	U	16 U16
C		16:14			16:23		64	C	16 C16
C		16:18			16:26		65	C	16 C16
C		16:21			16:29		66	C	16 C16
Alfa		16:27			16:32		67	A	16 A16
Urb		16:30	16:34	16:35	16:39		69	U	17 U17
Urb		16:33	16:43	16:44	16:50		70	U	17 U17
Urb		16:36	16:45	16:46	16:53		71	U	17 U17
Urb		16:47	16:52	16:53	16:56		72	U	17 U17
Urb		16:50	16:59	17:00	17:07		75	U	17 U17
Urb		17:01	17:05	17:06	17:10		76	U	18 U18
Urb		17:04	17:14	17:15	17:21		77	U	18 U18
Urb		17:07	17:16	17:17	17:24		78	U	18 U18
Urb		17:18	17:23	17:24	17:27		79	U	18 U18
IC		17:25			17:30		80	I	18 I18
Alfa		17:28			17:33		81	A	18 A18
Urb		17:31	17:40	17:41	17:48		82	U	18 U18

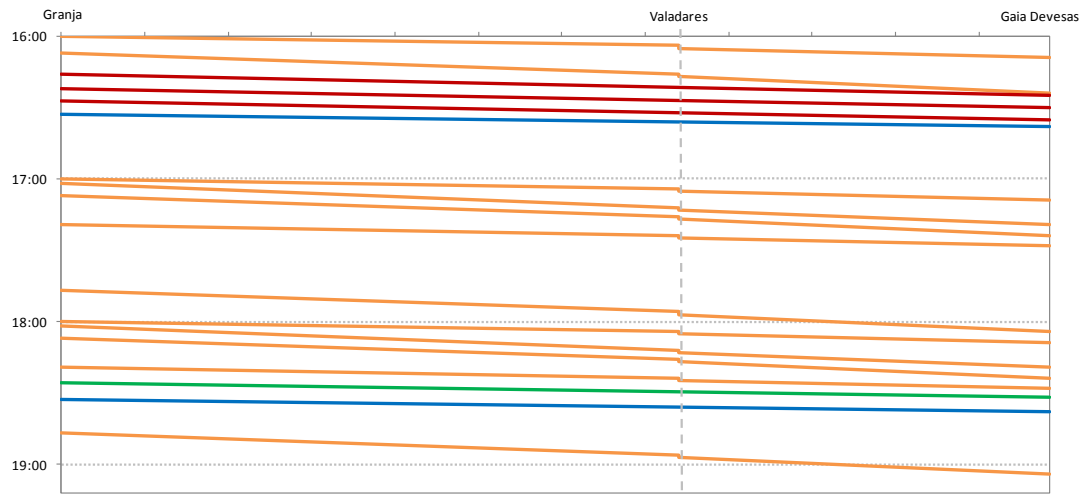


Figura 25. Diagrama espaço-tempo entre Granja e Gaia (Devesas)

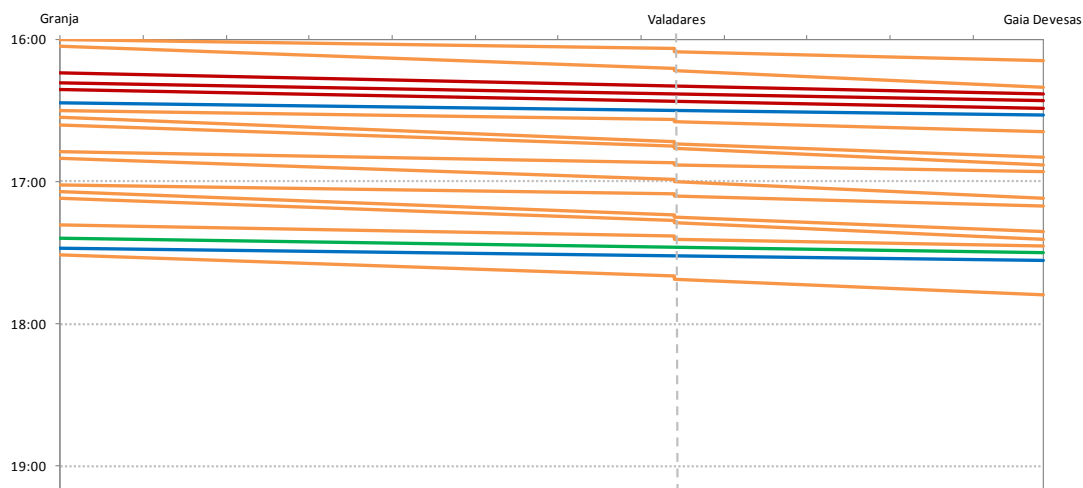


Figura 26. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Granja e Gaia (Devesas)

Tabela 18. Cálculo da capacidade entre Granja e Gaia no sentido Sul - Norte

Janela de tempo (horas:minutos)	03:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	01:48
Fator de segurança (%)	25
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	02:15
Capacidade usada (%)	75,30

Tabela 19. Horário de comboios entre Gaia (Devesas) e Granja nas horas de ponta

Sentido Norte - Sul										
	Gaia (Devesas)		Valadares		Granja					
Km	332,239	332,239	327,800	327,800	320,394	320,394				
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora	
Urb	16:05	16:06	16:12	16:13	16:22	16:23	66	U	16	U16
Urb	16:20	16:21	16:24	16:25	16:29	16:30	67	U	16	U16
Urb	16:25	16:26	16:31	16:32	16:41	16:42	68	U	16	U16
Urb	16:35	16:36	16:41	16:42	16:53		69	U	16	U16
Alfa	16:50	16:52			16:57	16:57	70	A	16	A16
IC	16:55	16:57			17:03	17:03	71	I	16	I16
Urb	17:01	17:02	17:05	17:06	17:09	17:09	72	U	17	U17
Urb	17:05	17:06	17:12	17:13	17:22	17:23	73	U	17	U17
Urb	17:20	17:21	17:24	17:25	17:29	17:30	74	U	17	U17
Urb	17:25	17:26	17:31	17:32	17:41	17:42	75	U	17	U17
Urb	17:35	17:36	17:41	17:42	17:53		76	U	17	U17
C	17:47	17:47			17:54	17:54	77	C	17	C17
Urb	18:01	18:02	18:05	18:06	18:09	18:09	79	U	18	U18
Urb	18:05	18:06	18:12	18:13	18:22	18:23	80	U	18	U18
Urb	18:20	18:21	18:24	18:25	18:29	18:30	81	U	18	U18
Urb	18:25	18:26	18:31	18:32	18:41	18:42	82	U	18	U18
Urb	18:35	18:36	18:41	18:42	18:53		83	U	18	U18
Alfa	18:50	18:52			18:57	18:57	84	A	18	A18
C	18:56	18:56			19:05	19:05	85	C	18	C18

Tabela 20. Compressão do horário Gaia - Granja no sentido Norte - Sul

Sentido Norte - Sul (Compressão do horário)									
Gaia (Devesas)			Valadares		Granja				
Km	332,239	332,239	327,800	327,800	320,394	320,394			
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora
Urb		16:00	16:06	16:07	16:16		66	U	16 U16
Urb		16:11	16:14	16:15	16:19		67	U	16 U16
Urb		16:14	16:19	16:20	16:29		68	U	16 U16
Urb		16:17	16:22	16:23	16:34		69	U	16 U16
Alfa		16:31			16:37		70	A	16 A16
IC		16:34			16:40		71	I	16 I16
Urb		16:37	16:40	16:41	16:44		72	U	17 U17
Urb		16:40	16:46	16:47	16:56		73	U	17 U17
Urb		16:51	16:54	16:55	16:59		74	U	17 U17
Urb		16:54	16:59	17:00	17:09		75	U	17 U17
Urb		16:57	17:02	17:03	17:14		76	U	17 U17
C		17:09			17:17		77	C	17 C17
Urb		17:12	17:15	17:16	17:20		79	U	18 U18
Urb		17:15	17:21	17:22	17:31		80	U	18 U18
Urb		17:26	17:29	17:30	17:34		81	U	18 U18
Urb		17:29	17:34	17:35	17:44		82	U	18 U18
Urb		17:32	17:37	17:38	17:49		83	U	18 U18
Alfa		17:46			17:52		84	A	18 A18
C		17:49			17:58		85	C	18 C18

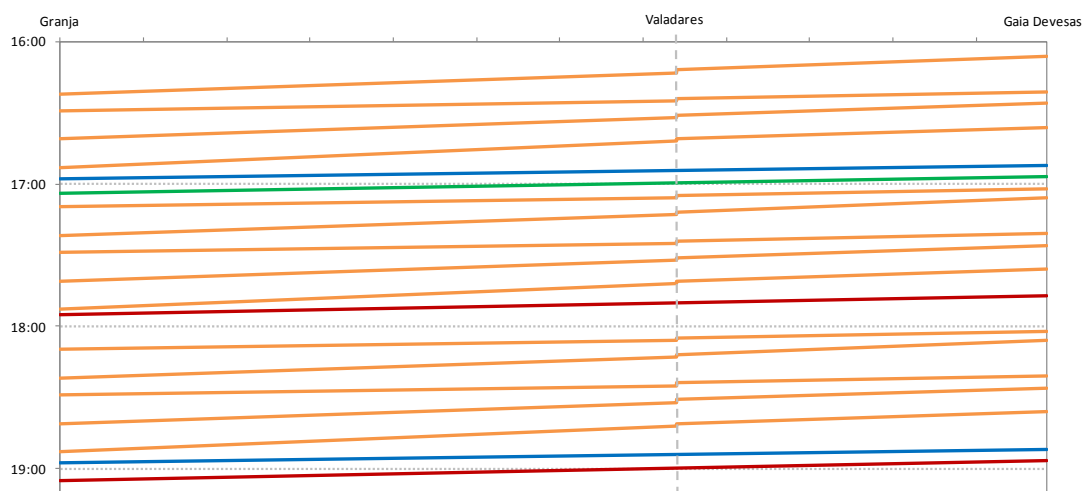


Figura 27. Diagrama espaço-tempo entre Gaia (Devesas) e Granja

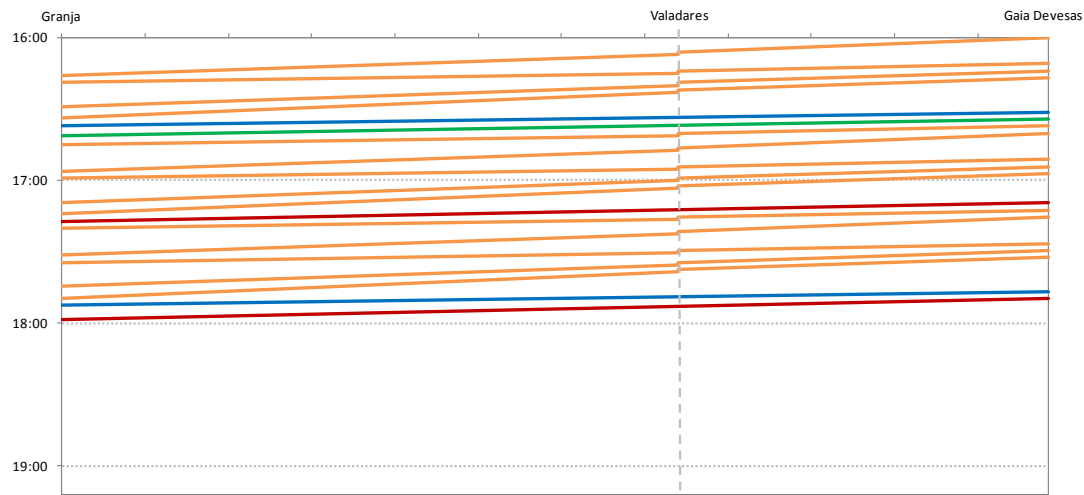


Figura 28. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Gaia (Devesas) e Granja

Tabela 21. Cálculo da capacidade entre Gaia e Granja no sentido Norte - Sul

Janela de tempo (horas:minutos)	03:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	01:58
Fator de segurança (%)	25
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	2:27
Capacidade usada (%)	82,19

○ Granja - Ovar

Tabela 22. Horário de comboios entre Ovar e Granja nas horas de ponta

Sentido Sul-Norte											
Ovar		Esmoriz		Espinho		Granja					
Km	300,776	300,776	311,9	311,9	316,792	316,792	320,394	320,394			
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora
C	16:01	16:01			16:13	16:13	16:16	16:16	64	C	16 C16
C	16:09	16:09			16:19	16:19	16:22	16:22	65	C	16 C16
C	16:13	16:13			16:24	16:24	16:27	16:27	66	C	16 C16
Alfa	16:23	16:23			16:30	16:30	16:32	16:32	67	A	16 A16
Urb	16:42	16:43	16:51	16:52	16:55	16:56	16:59	17:00	69	U	16 U16
Urb		16:48	16:56	16:57	17:03	17:04	17:06	17:07	71	U	16 U16
Urb	17:05	17:06	17:12	17:13	17:16	17:17	17:19	17:19	72	U	17 U17
Urb		17:26	17:36	17:37	17:43	17:44	17:46	17:47	75	U	17 U17
Urb	17:42	17:43	17:51	17:52	17:55	17:56	17:59	18:00	76	U	17 U17
Urb		17:48	17:56	17:57	18:03	18:04	18:06	18:07	78	U	17 U17
Urb	18:05	18:06	18:12	18:13	18:16	18:17	18:19	18:19	79	U	18 U18
IC	18:14	18:14			18:22	18:24	18:25	18:25	80	I	18 I18
Alfa	18:23	18:23			18:30	18:30	18:32	18:32	81	A	18 A18
Urb		18:26	18:36	18:37	18:43	18:44	18:46	18:47	82	U	18 U18
Urb	18:42	18:43	18:51	18:52	18:55	18:56	18:59	19:00	83	U	18 U18
Urb		18:48	18:56	18:57	19:03	19:04	19:06	19:07	85	U	18 U18

Tabela 23. Compressão do horário Ovar - Granja no sentido Sul - Norte

Sentido Sul-Norte (Compressão do horário)											
Ovar		Esmoriz		Espinho		Granja					
Km	300,776	300,776	311,9	311,9	316,792	316,792	320,394	320,394			
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora
C		16:00			16:11	16:11	16:14		64	C	16 C16
C		16:04			16:15	16:15	16:17		65	C	16 C16
C		16:07			16:18	16:18	16:20		66	C	16 C16
Alfa		16:15			16:22	16:22	16:23		67	A	16 A16
Urb		16:18	16:26	16:27	16:30	16:31	16:34		69	U	16 U16
Urb		16:21	16:29	16:30	16:36	16:37	16:39		71	U	16 U16
Urb		16:29	16:35	16:36	16:39	16:40	16:42		72	U	17 U17
Urb		16:32	16:42	16:43	16:49	16:50	16:52		75	U	17 U17
Urb		16:39	16:47	16:48	16:51	16:52	16:55		76	U	17 U17
Urb		16:42	16:50	16:51	16:57	16:58	17:00		78	U	17 U17
Urb		16:49	16:55	16:56	16:59	17:00	17:03		79	U	18 U18
IC		16:54			17:02	17:04	17:06		80	I	18 I18
Alfa		17:00			17:07	17:07	17:09		81	A	18 A18
Urb		17:03	17:13	17:14	17:20	17:21	17:23		82	U	18 U18
Urb		17:10	17:18	17:19	17:22	17:23	17:26		83	U	18 U18
Urb		17:13	17:21	17:22	17:28	17:29	17:31		85	U	18 U18

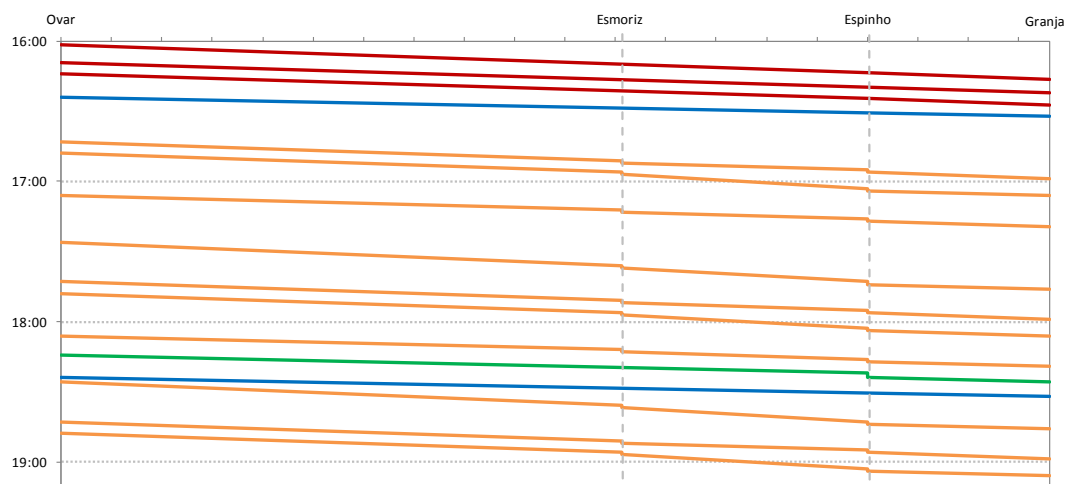


Figura 29. Diagrama espaço-tempo entre Ovar e Granja

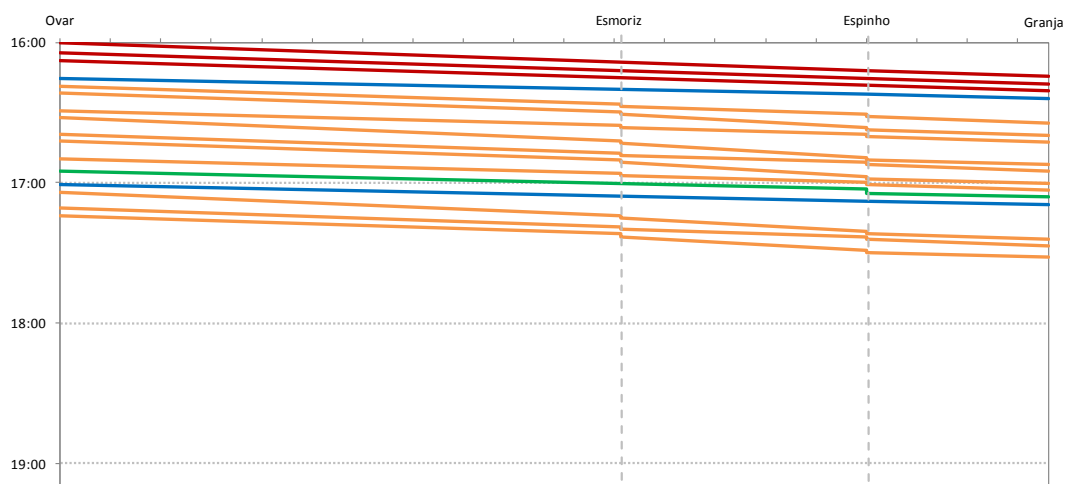


Figura 30. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Ovar e Granja

Tabela 24. Cálculo da capacidade entre Ovar e Granja no sentido Sul - Norte

Janela de tempo (horas:minutos)	03:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	01:31
Fator de segurança (%)	25
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	01:54
Capacidade usada (%)	63,86

Tabela 25. Horário de comboios entre Granja e Ovar nas horas de ponta

Sentido Norte-Sul											
	Granja		Espinho		Esmoriz		Ovar				
Km	320,394	320,394	316,792	316,792	311,9	311,9	300,776	300,776			
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora
Urb	16:22	16:23	16:25	16:26	16:32	16:33	16:42		66	U	16 U16
Urb	16:29	16:30	16:33	16:34	16:37	16:38	16:46	16:47	67	U	16 U16
Urb	16:41	16:42	16:45	16:46	16:52	16:53	17:04		68	U	16 U16
Alfa	16:57	16:57	16:59	16:59			17:07	17:07	70	A	16 A16
IC	17:03	17:03	17:05	17:07			17:15	17:17	71	I	17 I17
Urb	17:09	17:09	17:12	17:13	17:16	17:17	17:23	17:24	72	U	17 U17
Urb	17:22	17:23	17:25	17:26	17:32	17:33	17:42		73	U	17 U17
Urb	17:29	17:30	17:33	17:34	17:37	17:38	17:46	17:47	74	U	17 U17
Urb	17:41	17:42	17:45	17:46	17:52	17:53	18:04		75	U	17 U17
C	17:54	17:54	17:57	17:57			18:08	18:08	77	C	17 C17
Urb	18:09	18:09	18:12	18:13	18:16	18:17	18:23	18:24	79	U	18 U18
Urb	18:22	18:23	18:25	18:26	18:32	18:33	18:42		80	U	18 U18
Urb	18:29	18:30	18:33	18:34	18:37	18:38	18:46	18:47	81	U	18 U18
Urb	18:41	18:42	18:45	18:46	18:52	18:53	19:04		82	U	18 U18
Alfa	18:57	18:57	18:59	18:59			19:07	19:07	84	A	18 A18

Tabela 26. Compressão do horário Granja - Ovar no sentido Norte - Sul

Sentido Norte-Sul (Compressão do horário)											
Granja		Espinho		Esmoriz		Ovar					
Km	320,394	320,394	316,792	316,792	311,9	311,9	300,776	300,776			
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora
Urb		16:00	16:02	16:03	16:09	16:10	16:19		66	U	16 U16
Urb		16:06	16:09	16:10	16:13	16:14	16:22		67	U	16 U16
Urb		16:09	16:12	16:13	16:19	16:20	16:31		68	U	16 U16
Alfa		16:24	16:26	16:26			16:34		70	A	16 A16
IC		16:27	16:29	16:31			16:39		71	I	17 I17
Urb		16:30	16:32	16:33	16:36	16:37	16:43		72	U	17 U17
Urb		16:33	16:35	16:36	16:42	16:43	16:52		73	U	17 U17
Urb		16:39	16:42	16:43	16:46	16:47	16:55		74	U	17 U17
Urb		16:42	16:45	16:46	16:52	16:53	17:04		75	U	17 U17
C		16:54	16:56	16:56			17:07		77	C	17 C17
Urb		16:57	16:59	17:00	17:03	17:04	17:10		79	U	18 U18
Urb		17:00	17:02	17:03	17:09	17:10	17:19		80	U	18 U18
Urb		17:06	17:09	17:10	17:13	17:14	17:22		81	U	18 U18
Urb		17:09	17:12	17:13	17:19	17:20	17:31		82	U	18 U18
Alfa		17:24	17:26	17:26			17:34		84	A	18 A18

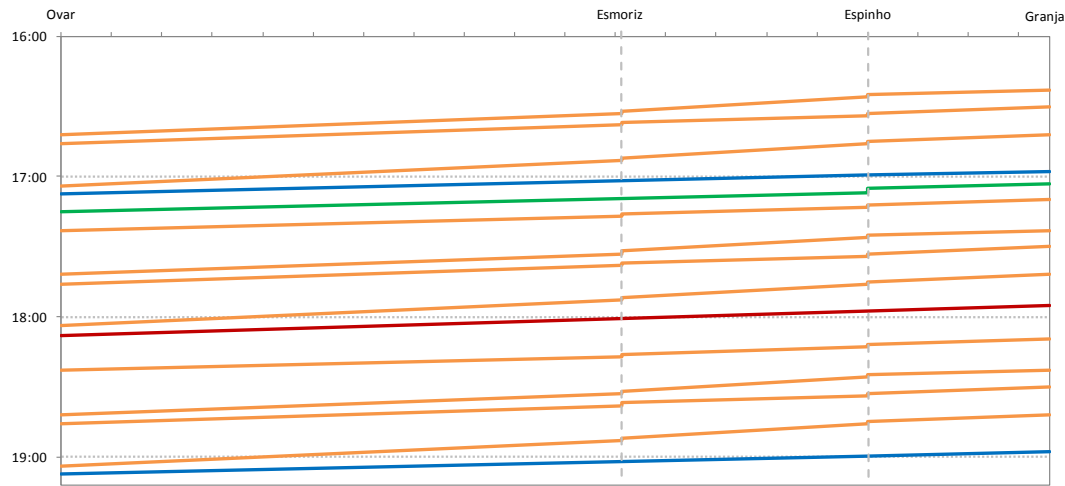


Figura 31. Diagrama espaço-tempo entre Granja e Ovar

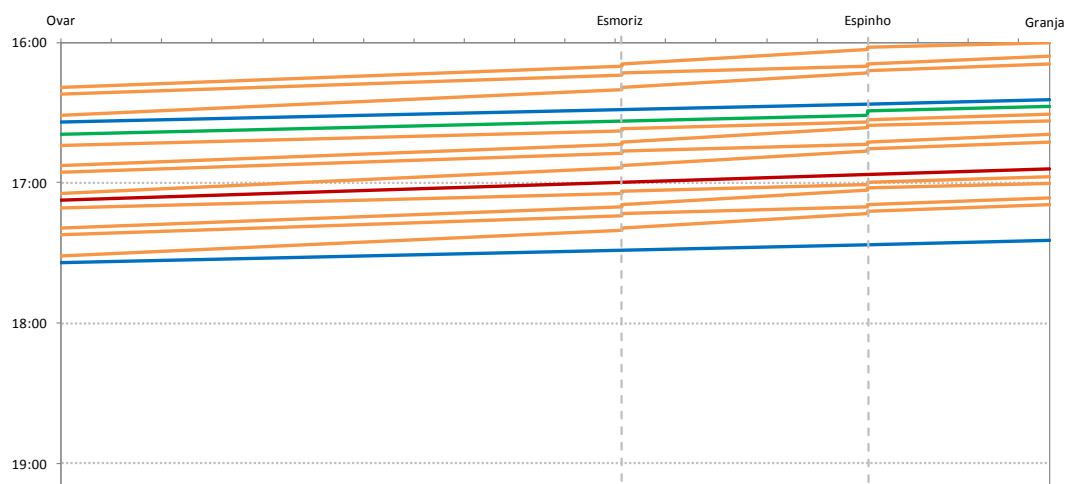


Figura 32. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Granja e Ovar

Tabela 27. Cálculo da capacidade entre Granja e Ovar no sentido Norte - Sul

Janela de tempo (horas:minutos)	03:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	01:34
Fator de segurança (%)	25
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	01:57
Capacidade usada (%)	65,44

○ Ovar - Aveiro

Tabela 28. Horário de comboios entre Aveiro e Ovar nas horas de ponta

Sentido Sul - Norte												
Aveiro		Plat. Cacia	Cacia		Estarreja		Ovar					
Km	272,676	272,676	276,249	278,718	278,718	287,421	287,421	300,776	300,776	Nº	Tipo	Hora
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida			
Alfa		16:12				16:18	16:18	16:23	16:23	67	A	16 A16
Urb		16:19		16:23	16:24	16:31	16:32	16:42	16:43	69	U	16 U16
Urb		16:47		16:50	16:51	16:56	16:57	17:05	17:06	72	U	16 U16
C	17:07	17:07	17:10							73	C	17 C17
Urb		17:19		17:23	17:24	17:31	17:32	17:42	17:43	76	U	17 U17
Urb		17:47		17:50	17:51	17:56	17:57	18:05	18:06	79	U	17 U17
IC		18:01				18:08	18:08	18:14	18:14	80	I	18 I18
Alfa		18:12				18:18	18:18	18:23	18:23	81	A	18 A18
Urb		18:19		18:23	18:24	18:31	18:32	18:42	18:43	83	U	18 U18
Urb		18:47		18:50	18:51	18:56	18:57	19:05	19:06	86	U	18 U18

Tabela 29. Compressão do horário Aveiro - Ovar no sentido Sul - Norte

Sentido Sul - Norte (Compressão do horário)												
	Aveiro		Plat. Cacia	Cacia		Estarreja		Ovar				
Km	272,676	272,676	276,249	278,718	278,718	287,421	287,421	300,776	300,776			
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora
Alfa		16:00				16:06	16:06	16:11		67	A	16 A16
Urb		16:03		16:07	16:08	16:15	16:16	16:26		69	U	16 U16
Urb		16:11		16:14	16:15	16:20	16:21	16:29		72	U	16 U16
C		16:14	16:16							73	C	17 C17
Urb		16:16		16:20	16:21	16:28	16:29	16:39		76	U	17 U17
Urb		16:24		16:27	16:28	16:33	16:34	16:42		79	U	17 U17
IC		16:32				16:39	16:39	16:45		80	I	18 I18
Alfa		16:36				16:43	16:43	16:48		81	A	18 A18
Urb		16:39		16:43	16:44	16:51	16:52	17:02		83	U	18 U18
Urb		16:47		16:50	16:51	16:56	16:57	17:05		86	U	18 U18

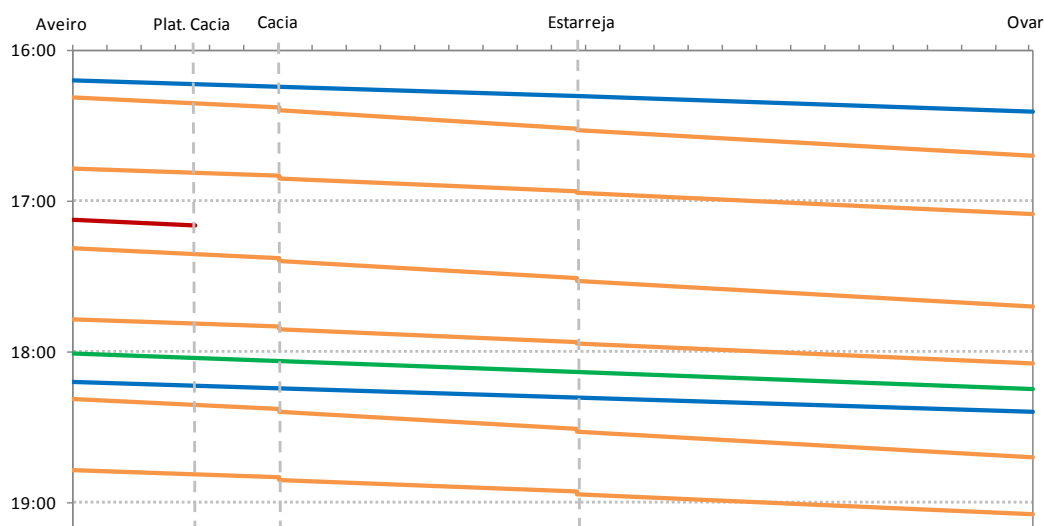


Figura 33. Diagrama espaço-tempo entre Aveiro e Ovar

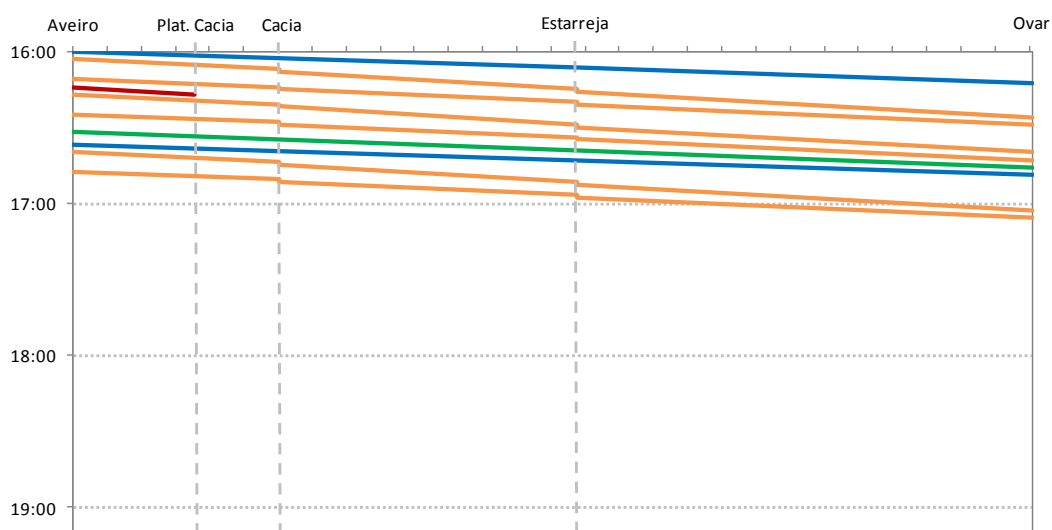


Figura 34. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Aveiro e Ovar

Tabela 30. Cálculo da capacidade entre Aveiro e Ovar no sentido Sul - Norte

Janela de tempo (horas:minutos)	03:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	01:05
Fator de segurança (%)	25
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	01:22
Capacidade usada (%)	45,83

Tabela 31. Horário de comboios entre Ovar e Aveiro nas horas de ponta

Sentido Norte - Sul											
Ovar			Estarreja		Cacia		Plat. Cacia	Aveiro			
Km	300,776	300,776	287,421	287,421	278,718	278,718	276,249	272,676	272,676		
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo Hora
Alfa	16:07	16:07	16:13	16:13				16:21		65	A 16 A16
Urb	16:46	16:47	16:57	16:58	17:06	17:07		17:12		67	U 16 U16
Alfa	17:07	17:07	17:13	17:13				17:21		70	A 17 A17
IC	17:15	17:17	17:23	17:23				17:31		71	I 17 I17
Urb	17:23	17:24	17:33	17:34	17:38	17:39		17:44		72	U 17 U17
Urb	17:46	17:47	17:57	17:58	18:06	18:07		18:12		74	U 17 U17
C	18:08	18:08	18:17	18:17	18:23	18:23	18:24	18:27	18:27	77	C 18 C18
C							18:27	18:29	18:27	78	C 16 C16
Urb	18:23	18:24	18:33	18:34	18:38	18:39		18:44		79	U 18 U18
Urb	18:46	18:47	18:57	18:58	19:06	19:07		19:12		81	U 18 U18

Tabela 32. Compressão do horário Ovar - Aveiro no sentido Norte - Sul

Sentido Norte - Sul (Compressão do horário)											
Ovar			Estarreja		Cacia		Plat. Cacia	Aveiro			
Km	300,776	300,776	287,421	287,421	278,718	278,718	276,249	272,676	272,676		
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo Hora
Alfa		16:00	16:06	16:06				16:13		65	A 16 A16
Urb		16:03	16:13	16:14	16:22	16:23		16:28		67	U 16 U16
Alfa		16:17	16:23	16:23				16:31		70	A 17 A17
IC		16:20	16:26	16:26				16:34		71	I 17 I17
Urb		16:23	16:32	16:33	16:37	16:38		16:43		72	U 17 U17
Urb		16:26	16:36	16:37	16:45	16:46		16:51		74	U 17 U17
C		16:35	16:44	16:44	16:50	16:50	16:51	16:54		77	C 18 C18
C							16:54	16:56		78	C 16 C16
Urb		16:42	16:51	16:52	16:56	16:57		17:02		79	U 18 U18
Urb		16:45	16:55	16:56	17:04	17:05		17:10		81	U 18 U18

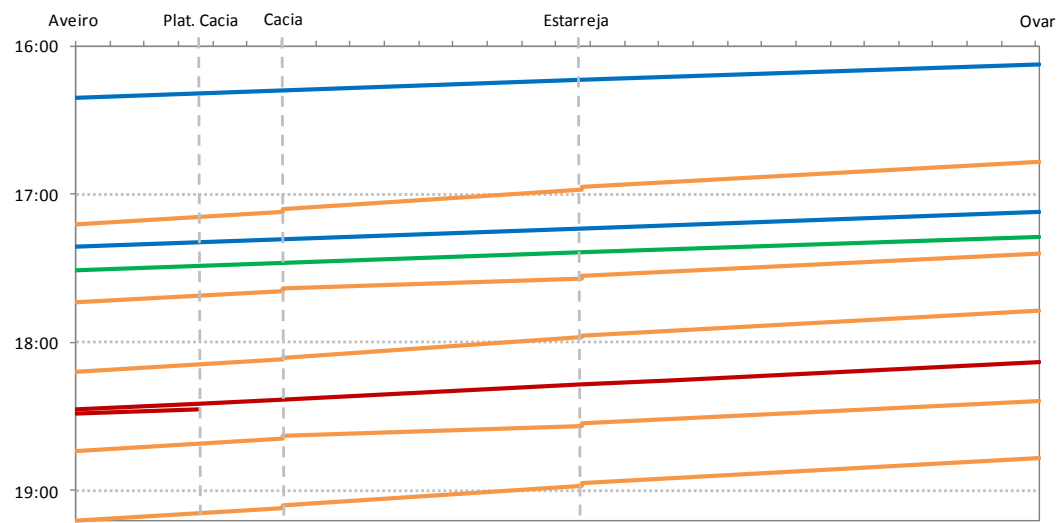


Figura 35. Diagrama espaço-tempo entre Ovar e Aveiro

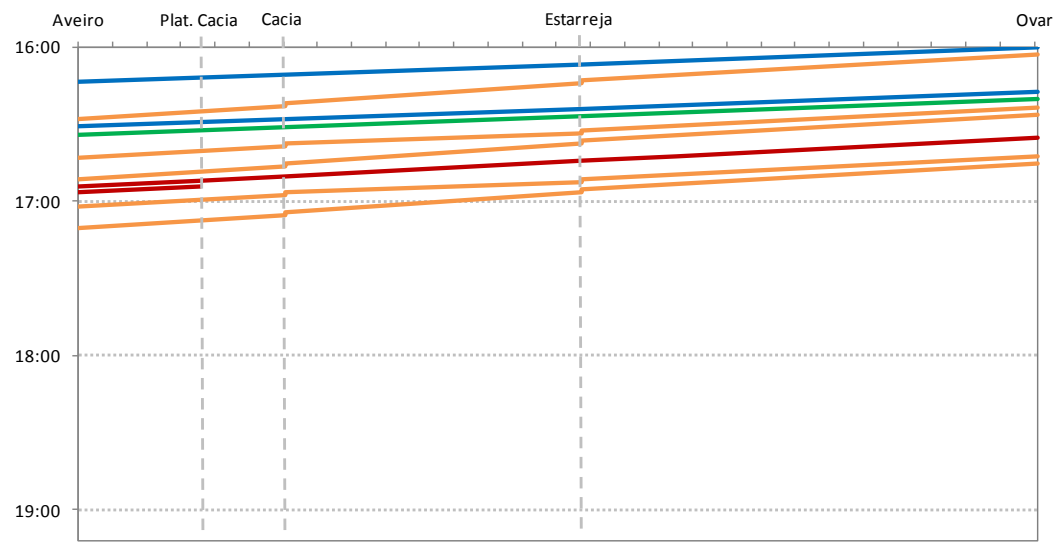


Figura 36. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Ovar e Aveiro

Tabela 33. Cálculo da capacidade entre Ovar e Aveiro no sentido Norte - Sul

Janela de tempo (horas:minutos)	03:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	01:10
Fator de segurança (%)	25
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	01:27
Capacidade usada (%)	48,83

- Compressão de 24 horas

A Tabela 34 pretende mostrar os valores obtidos para o cálculo da capacidade na janela de tempo de vinte e quatro horas, nomeadamente o tempo após compressão.

Tabela 34. Cálculo da capacidade para janela de tempo de 24 horas

Troço	Sentido	S→N	N→S
Porto (Campanhã) – Gaia (Devesas)	Janela de tempo (horas:minutos)	24:00	24:00
	Tempo após compressão (horas:minutos)	05:31	05:35
	Fator de segurança (%)	40	40
	Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	07:43	07:49
	Capacidade usada (%)	32,21	32,63
Gaia (Devesas) - Granja	Janela de tempo (horas:minutos)	24:00	24:00
	Tempo após compressão (horas:minutos)	08:52	08:53
	Fator de segurança (%)	40	40
	Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	12:24	12:26
	Capacidade usada (%)	51,73	51,83
Granja – Ovar	Janela de tempo (horas:minutos)	24:00	24:00
	Tempo após compressão (horas:minutos)	07:26	07:48
	Fator de segurança (%)	40	40
	Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	10:25	10:55
	Capacidade usada (%)	43,43	45,55
Ovar - Aveiro	Janela de tempo (horas:minutos)	24:00	24:00
	Tempo após compressão (horas:minutos)	06:38	06:35
	Fator de segurança (%)	40	40
	Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	09:18	09:13
	Capacidade usada (%)	38,79	38,47

- Capacidade usada

De seguida, encontram-se as tabelas que resumem os valores obtidos para a capacidade usada em cada troço. Para o fator de segurança retirado da Tabela 2, considerou-se que todos os troços são de tráfego misto, tendo sido utilizados os valores de 25% para as horas de ponta e de 40% para o período diário.

Tabela 35. Capacidade usada nas horas de ponta entre Aveiro e Porto - Campanhã

Troço	Capacidade Usada (%)	
	Norte - Sul	Sul - Norte
Porto (Campanhã) – Gaia (Devesas)	53	50
Gaia (Devesas) – Granja	82	75
Granja - Ovar	65	64
Ovar - Aveiro	49	45

Tabela 36. Capacidade usada em 24h entre Aveiro e Porto – Campanhã

Troço	Capacidade Usada (%)	
	Norte - Sul	Sul - Norte
Porto (Campanhã) – Gaia (Devesas)	31	32
Gaia (Devesas) – Granja	51	51
Granja – Ovar	46	43
Ovar - Aveiro	38	38

Como é possível observar nas duas tabelas anteriores, a capacidade da Linha do Norte não se encontra esgotada. É também notória a diferença da capacidade usada entre as horas de ponta e o período diário, tal como seria de esperar, pois ao analisar uma janela de tempo maior, aumenta a flexibilidade do horário.

Nestas duas tabelas, há um troço onde os valores podem parecer, à primeira vista, contraditórios, que é o troço Porto (Campanhã) – Gaia (Devesas), pois sendo o número de comboios semelhante (nos troços Porto (Campanhã) – Gaia (Devesas) e Gaia (Devesas) – Granja), seria de prever que os valores da capacidade fossem semelhantes, no entanto isso não se verifica pelo facto de se tratar de troços com uma extensão bastante pequena, de apenas 3,840 km. Por ser um troço de dimensões reduzidas, o tempo que cada comboio ocupa o mesmo é, por consequência, bastante baixo, sendo assim mais eficaz a compressão do horário.

Na Tabela 35 pode notar-se, no troço entre Gaia (Devesas) e Granja, que os valores da capacidade se encontram perto do limite na hora de ponta. Isto é devido ao facto de o tipo de comboio predominante nesta janela de tempo ser o comboio urbano, pelo que, analisando a hora de ponta, é de esperar que a capacidade apresente um número elevando, pois trata-se da hora de saída das pessoas dos respetivos empregos e consequente regresso a casa.

Apresentam-se, nas Figura 37 e Figura 38, os diagramas da capacidade usada para a linha em estudo, com proporcionalidade nas distâncias entre estações:

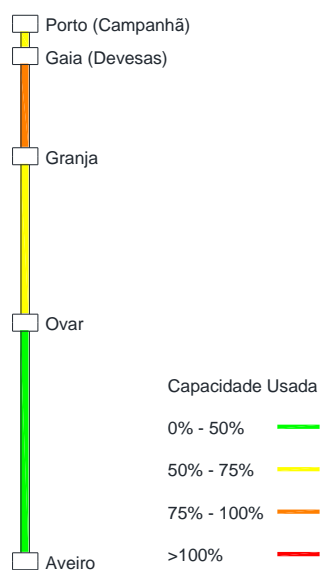


Figura 37. Diagrama da capacidade usada nas horas de ponta na Linha do Norte

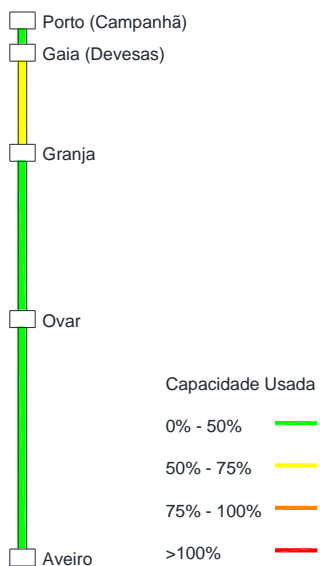


Figura 38. Diagrama da capacidade usada em 24h na Linha do Norte

De seguida é apresentada uma tabela com os valores da capacidade usada nas horas de ponta para diferentes tempos de separação entre dois comboios consecutivos:

Tabela 37. Capacidade usada para diferentes tempos entre comboios consecutivos

	2 min	3 min	4 min
Capacidade Usada (%)			
Porto (Campanhã) – Gaia (Devesas)	38	53	64
Gaia (Devesas) – Granja	70	82	95
Granja - Ovar	56	65	75
Ovar - Aveiro	43	49	55

Tal como se pode verificar na Tabela 37, o tempo que separa dois comboios consecutivos tem grande influência no valor da capacidade usada nas horas de ponta. De notar também que quanto mais sobrecarregado se encontra o troço, maior é a variação da capacidade usada com o aumento deste parâmetro, por exemplo o aumento de três para quatro minutos na distância entre comboios no troço Gaia – Granja provoca um aumento de treze por cento na capacidade usada.

Estes valores obtidos não variam no entanto de forma tão linear como a apresentada, na medida em que os valores apresentados foram obtidos partindo do pressuposto que os comboios circulavam à mesma velocidade, o que podia não ser verdade. Por exemplo, o aumento do tempo entre comboios para 4 minutos através do aumento da distância de cantonamento permitiria que os comboios circulassem com velocidades maiores, portanto o valor “real” da capacidade seria um pouco inferior a 95%. O mesmo acontece quando se diminuiu o tempo de separação para 2 minutos mas em sentido oposto, pois com uma distância de cantonamento mais baixa, os comboios teriam de circular a velocidades mais baixas do que na situação inicial (3 minutos entre comboios). Para 2 minutos entre comboios, os valores “reais” de capacidade usada seriam ligeiramente mais elevados aos obtidos.

4.2. Estudo de Caso nº 2: Ramal do Porto de Aveiro

Apresenta-se, neste capítulo, o estudo da capacidade realizado para a o Ramal do Porto de Aveiro. Este estudo tem particular interesse pois é um ramal que se encontra em exploração apenas desde 2010 e para o qual está prevista a eletrificação no quarto trimestre de 2014. O ramal, com 8,800 km, caracteriza-se por ser de via única, em bitola ibérica (larga), com o patamar de velocidade máxima entre 50 e 90 km/h e faz a ligação entre o Porto de Aveiro e a Linha do Norte na Plataforma Logística Portuária de Cacia, sendo utilizado

somente por comboios de Carga, na sua grande maioria para transporte de cimento, fazendo ligação com Souselas e Martingança.

- Levantamento do horário

O horário que se apresenta de seguida, referente ao Ramal do Porto de Aveiro, tal como no primeiro estudo de caso, é referente à data de 3 de Abril de 2014.

Tabela 38. Horário do Ramal do Porto de Aveiro

Linha do Porto de Aveiro						
Plat. Cacia		P. Aveiro				
Km	0	8,8				
Tipo	Part/Cheg	Part/Cheg	Nº	Tipo	Hora	
C	00:15	00:05	1	C	0	C0
C	00:50	01:10	2	C	0	C0
C	03:25	03:10	3	C	3	C3
C	04:40	04:55	4	C	4	C4
C	06:30	06:15	5	C	6	C6
C	07:15	07:30	6	C	7	C7
C	08:45	08:30	7	C	8	C8
C	09:10	09:25	8	C	9	C9
C	10:55	10:40	9	C	10	C10
C	11:20	11:35	10	C	11	C11
C	13:00	12:45	11	C	12	C12
C	14:30	14:45	12	C	14	C14
C	16:15	16:00	13	C	16	C16
C	17:30	17:45	14	C	17	C17
C	19:20	19:00	15	C	19	C19
C	19:55	20:10	16	C	19	C19
C	21:35	21:21	17	C	21	C21
C	21:50	22:00	18	C	21	C21
C	23:10	22:55	19	C	22	C22
C	23:30	23:45	20	C	23	C23

- Divisão da linha

Ao contrário do primeiro estudo de caso, o Ramal do Porto de Aveiro não necessitou de sofrer qualquer divisão, pois os comboios apenas efetuam paragem no início e fim do mesmo, entre a Plataforma Logística Portuária de Cacia e o Porto de Aveiro.

- Compressão do horário

Como os serviços são distribuídos ao longo do dia e não há comboios de passageiros, não faria sentido realizar o estudo para a hora de ponta, portanto apenas foi realizado o estudo considerando uma janela de tempo de vinte e quatro horas. Tal como no primeiro estudo de caso, este cálculo foi realizado de forma analítica, com posterior apresentação dos diagramas para melhor visualização.

Tabela 39. Compressão do horário do Ramal do Porto de Aveiro

Compressão do Horário						
Plat. Cacia		P. Aveiro				
Km	0	8,8				
Tipo	Part/Cheg	Part/Cheg	Nº	Tipo	Hora	
C	00:10	00:00	1	C	0	C0
C	00:10	00:30	2	C	0	C0
C	00:45	00:30	3	C	0	C0
C	00:45	01:00	4	C	0	C0
C	01:15	01:00	5	C	1	C1
C	01:15	01:30	6	C	1	C1
C	01:45	01:30	7	C	1	C1
C	01:45	02:00	8	C	1	C1
C	02:15	02:00	9	C	2	C2
C	02:15	02:30	10	C	2	C2
C	02:45	02:30	11	C	2	C2
C	02:45	03:00	12	C	2	C2
C	03:15	03:00	13	C	3	C3
C	03:15	03:30	14	C	3	C3
C	03:50	03:30	15	C	3	C3
C	03:50	04:05	16	C	3	C3
C	04:19	04:05	17	C	4	C4
C	04:19	04:29	18	C	4	C4
C	04:44	04:29	19	C	4	C4
C	04:44	04:59	20	C	4	C4

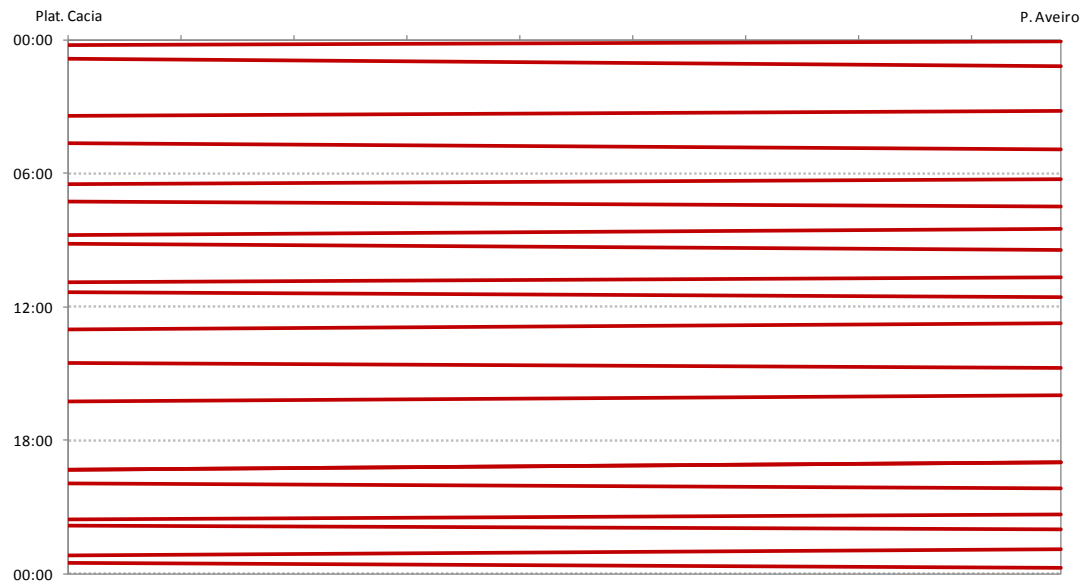


Figura 39. Diagrama espaço-tempo do Ramal do Porto de Aveiro

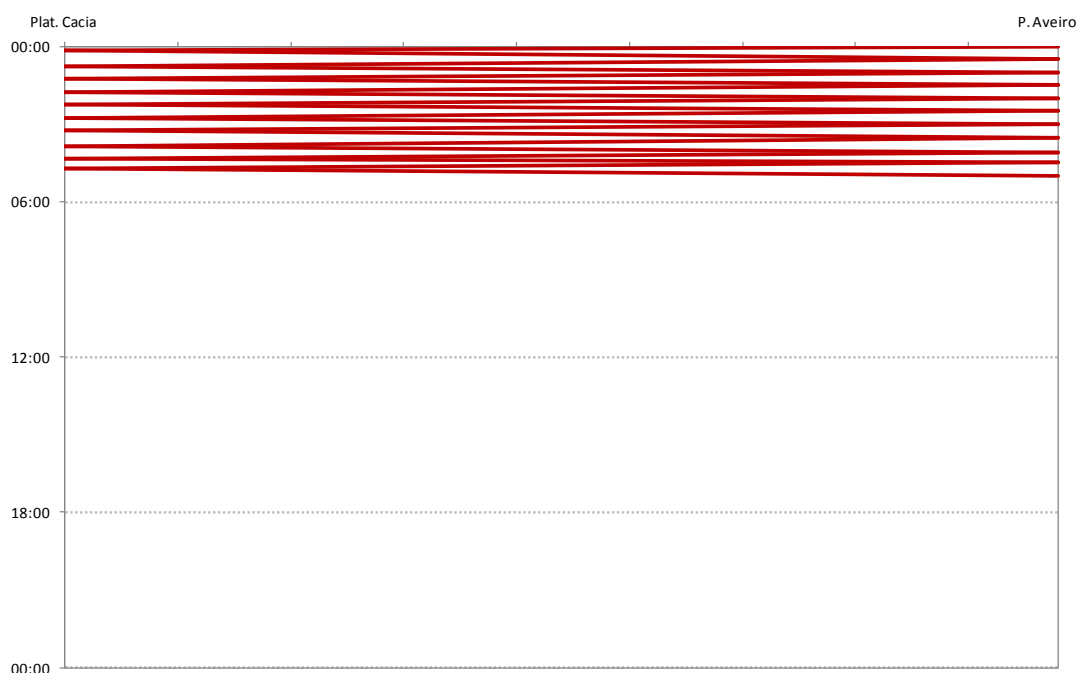


Figura 40. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido do Ramal do Porto de Aveiro

- Capacidade usada

Para os valores do fator de segurança, não havendo na ficha UIC 406 um valor para linhas usadas exclusivamente por comboios de mercadorias, foi adotado o valor de 40% tendo como referência a Tabela 2, apresentada na página 20, como se se tratasse de uma linha mista, pois a ficha UIC 406 não contempla linhas utilizadas exclusivamente por comboios de Carga.

Tabela 40. Cálculo da capacidade para o Ramal do Porto de Aveiro

Janela de tempo (horas:minutos)	24:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	04:59
Fator de segurança (%)	40
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	06:58
Capacidade usada (%)	29,07

O valor obtido para a capacidade usada indica que este ramal ainda tem uma margem bastante grande para poder operar mais comboios, no entanto, o que acontece neste ramal, tal como em outras linhas/ramais do país, é que a capacidade neste caso não se encontra limitada pela infraestrutura, mas sim pelo facto de as empresas que solicitam os serviços não terem capacidade de manobrar as mercadorias, tendo assim de ocupar durante mais tempo as locomotivas da empresa que fornece o serviço.

Outra das limitações deste ramal está relacionada com o facto de o mesmo ainda ser de linha não eletrificada. Como a maior parte dos serviços é feita entre o Porto de Aveiro, Souselas (cerca de 65km) e Martingança (cerca de 168km) e tendo em conta que o custo do uso de locomotivas *diesel* é bastante superior ao custo em locomotivas elétricas, torna-se necessário fazer a mudança de locomotiva *diesel* para elétrica na Plataforma Logística Portuária de

Cacia, implicando assim mais um obstáculo ao número de comboios que circulam neste ramal. Estando prevista a eletrificação do Ramal do Porto de Aveiro, e com a conclusão das obras, este problema da mudança de locomotivas será resolvido, pelo que é de prever que a circulação de comboios neste ramal aumente.

4.3. Estudo de Caso nº 3: Linha do Vouga

O estudo desta linha tem particular interesse na medida em que, ao longo de muitos anos, foi conhecida como sendo uma linha onde, apesar da baixa velocidade de circulação dos comboios, se verificavam bastantes acidentes, chegando mesmo a representar 30% do total de sinistros registados em Portugal, no ano de 2007, segundo os dados da REFER. Após esse ano, foram realizados investimentos com o objetivo de reduzir os acidentes nesta linha, suprimindo e automatizando passagens de nível. Atualmente, encontra-se ainda sem circulação de comboios o troço entre Sernada do Vouga e Oliveira de Azeméis, sendo os serviços divididos em duas zonas: entre Espinho e Oliveira de Azeméis e entre Sernada do Vouga e Aveiro podendo, este último troço, ser também conhecido como Ramal de Aveiro. A Linha do Vouga caracteriza-se por ser de via única de bitola métrica (1000 mm), permitindo velocidades máximas na ordem dos 50 km/h e tendo, globalmente, (incluindo o troço Sernada do Vouga – Oliveira de Azeméis) 98,656 km de extensão, apenas circulando nesta linha automotoras *diesel*, que efetuam o serviço regional de passageiros.

O estudo da capacidade desta linha foi dividido em três zonas, Aveiro – Águeda, Águeda – Sernada do Vouga e Espinho (Vouga) – Oliveira de Azeméis, sendo posteriormente cada zona dividida em troços mais curtos, mais precisamente nas estações onde os comboios efetuam paragens e onde é possível o cruzamento destes. Este estudo foi também desenvolvido de forma analítica, sendo apresentados os diagramas espaço-tempo apenas para melhor visualização da compressão do horário.

- Levantamento do horário entre Aveiro e Águeda

Tabela 41. Horário de comboios entre Aveiro e Águeda

Sentido Aveiro - Águeda											
Aveiro			Eixo		Eirol		Águeda				
Km	37,7	37,7	27,8	27,8	23,7	23,7	14,4	14,4			
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora
REG		06:45	06:57	06:58	07:05	07:06	07:23		1	R	6 R6
REG		07:42	07:55	07:56	08:02	08:03	08:20		2	R	7 R7
REG		08:33	08:46	08:47	08:53	08:54	09:10		3	R	8 R8
REG		09:53	10:05	10:06	10:12	10:13	10:30		4	R	9 R9
REG		10:45	10:57	10:58	11:04	11:05	11:21		5	R	10 R10
REG		13:16	13:28	13:29	13:35	13:36	13:52		6	R	13 R13
REG		14:59	15:11	15:12	15:18	15:19	15:36		7	R	14 R14
REG		16:34	16:46	16:47	16:53	16:54	17:11		8	R	16 R16
REG		18:10	18:22	18:23	18:29	18:30	18:47		9	R	18 R18
REG		19:37	19:50	19:51	19:57	19:58	20:14		10	R	19 R19
REG		20:12	20:24	20:25	20:31	20:32	20:49		11	R	20 R20

Tabela 42. Horário de comboios entre Águeda e Aveiro

Sentido Águeda - Aveiro											
Águeda			Eirol		Eixo		Aveiro				
Km	14,4	14,4	23,7	23,7	27,8	27,8	37,7	37,7			
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora
REG		06:03	06:19	06:20	06:26	06:27	06:40		12	R	6 R6
REG		06:49	07:06	07:07	07:14	07:15	07:28		13	R	6 R6
REG		07:29	07:45	07:46	07:54	07:55	08:07		14	R	7 R7
REG		08:22	08:38	08:39	08:47	08:48	09:00		15	R	8 R8
REG		09:11	09:27	09:28	09:35	09:36	09:48		16	R	9 R9
REG		11:22	11:38	11:39	11:46	11:47	11:59		17	R	11 R11
REG		13:53	14:09	14:10	14:17	14:18	14:30		18	R	13 R13
REG		15:39	15:55	15:56	16:02	16:03	16:16		19	R	15 R15
REG		17:25	17:41	17:42	17:49	17:50	18:02		20	R	17 R17
REG		18:49	19:05	19:06	19:13	19:14	19:26		21	R	18 R18
REG		19:26	19:42	19:43	19:51	19:52	20:04		22	R	19 R19

- Divisão da linha

Sendo a Linha do Vouga de via única, a divisão da linha entre Aveiro e Águeda foi feita nas estações que apresentam duas linhas e que possibilitam o cruzamento de dois comboios em sentidos opostos. Entre Aveiro e Águeda há duas estações com esta possibilidade: Eirol e Eixo. No presente trabalho foram estudados os troços Aveiro – Eixo, Eixo – Eirol e Eirol – Águeda.

- Compressão do horário

Apresentam-se, de seguida, as tabelas e diagramas relativos ao troço Aveiro – Eixo, sendo os restantes apresentados no Anexo-D. Nos diagramas, a diferença entre linha e tracejado tem apenas como objetivo facilitar a distinção de comboios em sentidos opostos.

Tabela 43. Horário de comboios entre Aveiro e Eixo

Troço Aveiro - Eixo							
Aveiro				Eixo			
Km	37,7	37,7		27,8	27,8		
Tipo	Part/Cheg			Part/Cheg		Nº	Tipo Hora
REG	06:40			06:27		12	R 6 R6
REG	06:45			06:57		1	R 6 R6
REG	07:28			07:15		13	R 6 R6
REG	07:42			07:55		2	R 7 R7
REG	08:07			07:55		14	R 7 R7
REG	08:33			08:46		3	R 8 R8
REG	09:00			08:48		15	R 8 R8
REG	09:48			09:36		16	R 9 R9
REG	09:53			10:05		4	R 9 R9
REG	10:45			10:57		5	R 10 R10
REG	11:59			11:47		17	R 11 R11
REG	13:16			13:28		6	R 13 R13
REG	14:30			14:18		18	R 13 R13
REG	14:59			15:11		7	R 14 R14
REG	16:16			16:03		19	R 15 R15
REG	16:34			16:46		8	R 16 R16
REG	18:02			17:50		20	R 17 R17
REG	18:10			18:22		9	R 18 R18
REG	19:26			19:14		21	R 18 R18
REG	19:37			19:50		10	R 19 R19
REG	20:04			19:52		22	R 19 R19
REG	20:12			20:24		11	R 20 R20

Tabela 44. Compressão do horário entre Aveiro e Eixo

Troço Aveiro - Eixo (Compressão do horário)						
Aveiro			Eixo			
Km	37,7	37,7	27,8	27,8		
Tipo	Part/Cheg		Part/Cheg	Nº	Tipo	Hora
REG	06:40		06:27	12	R	6 R6
REG	06:41		06:53	1	R	6 R6
REG	07:07		06:54	13	R	6 R6
REG	07:08		07:21	2	R	7 R7
REG	07:34		07:22	14	R	7 R7
REG	07:35		07:48	3	R	8 R8
REG	08:01		07:49	15	R	8 R8
REG	08:02		07:50	16	R	9 R9
REG	08:03		08:15	4	R	9 R9
REG	08:04		08:16	5	R	10 R10
REG	08:29		08:17	17	R	11 R11
REG	08:30		08:42	6	R	13 R13
REG	08:55		08:43	18	R	13 R13
REG	08:56		09:08	7	R	14 R14
REG	09:22		09:09	19	R	15 R15
REG	09:23		09:35	8	R	16 R16
REG	09:48		09:36	20	R	17 R17
REG	09:49		10:01	9	R	18 R18
REG	10:14		10:02	21	R	18 R18
REG	10:15		10:28	10	R	19 R19
REG	10:41		10:29	22	R	19 R19
REG	10:42		10:54	11	R	20 R20

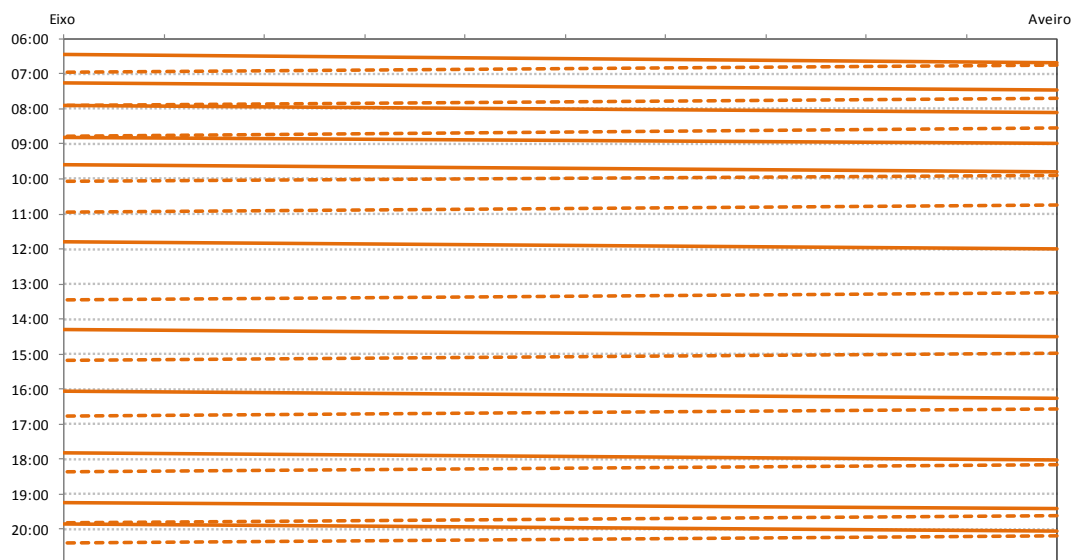


Figura 41. Diagrama espaço-tempo entre Aveiro e Eixo

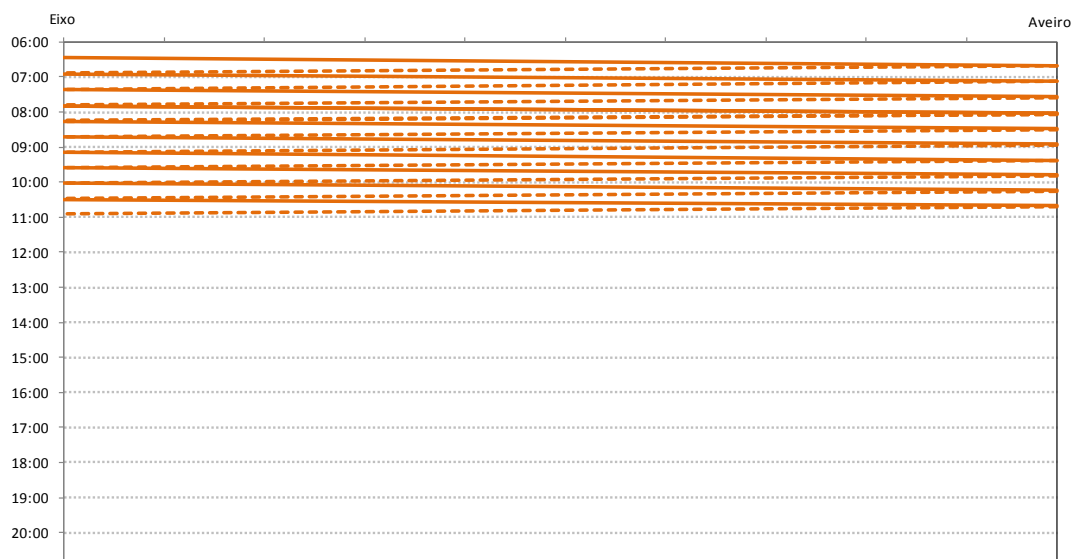


Figura 42. Diagrama espaço-tempo do horário comprimido entre Aveiro e Eixo

Tabela 45. Cálculo da capacidade usada entre Aveiro e Eixo

Janela de tempo (horas:minutos)	24:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	04:27
Fator de segurança (%)	30
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	05:47
Capacidade usada (%)	24,10

- Levantamento do horário entre Águeda e Sernada do Vouga

Tabela 46. Horário dos comboios entre Águeda e Sernada do Vouga

Sentido Águeda - Sernada									
Águeda		Macinhata		Sernada do Vouga					
Km	14,4	14,4	2,7	2,7	0	0			
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora
REG		09:12	09:51	09:52	10:02		1	R	9 R9
REG		11:23	12:02	12:03	12:13		2	R	11 R11
REG		13:54	14:33	14:34	14:44		3	R	13 R13
REG		15:38	16:17	16:18	16:28		4	R	15 R15
REG		17:24	18:03				5	R	17 R17
REG		20:15	20:54	20:55	21:05		6	R	20 R20

Tabela 47. Horário dos comboios entre Sernada do Vouga e Águeda

Sentido Sernada - Águeda									
Sernada do Vouga		Macinhata		Águeda					
Km	0	0	2,7	2,7	14,4	14,4			
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora
REG		05:59	06:09	06:10	06:48		7	R	5 R5
REG		07:30	07:40	07:41	08:20		8	R	7 R7
REG		13:02	13:12	13:13	13:51		9	R	13 R13
REG		14:46	14:56	14:57	15:37		10	R	14 R14
REG		16:34	16:44	16:45	17:23		11	R	16 R16
REG				18:10	18:48		12	R	18 R18

- Divisão da linha

O troço de 14,4 km entre Sernada do Vouga e Águeda foi dividido apenas na estação de Macinhata do Vouga por ser o único com possibilidade de cruzamento de comboios em sentidos opostos.

- Compressão do horário

Seguidamente, apresentam-se as tabelas e diagramas relativos ao troço Águeda - Macinhata, sendo o troço Macinhata – Sernada do Vouga apresentado no Anexo-D.

Tabela 48. Horário dos comboios entre Águeda e Macinhata

Troço Águeda - Macinhata						
Águeda			Macinhata			
Km	14,4	14,4	2,7	2,7		
Tipo	Part/Cheg		Part/Cheg	Nº	Tipo	Hora
REG	06:48		06:10	7	R	5 R5
REG	08:20		07:41	8	R	7 R7
REG	09:12		09:51	1	R	9 R9
REG	11:23		12:02	2	R	11 R11
REG	13:51		13:13	9	R	13 R13
REG	13:54		14:33	3	R	13 R13
REG	15:37		14:57	10	R	14 R14
REG	15:38		16:17	4	R	15 R15
REG	17:23		16:45	11	R	16 R16
REG	17:24		18:03	5	R	17 R17
REG	18:48		18:10	12	R	18 R18
REG	20:15		20:54	6	R	20 R20

Tabela 49. Horário comprimido entre Águeda e Macinhata

Troço Águeda - Macinhata (Compressão do horário)						
Águeda			Macinhata			
Km	14,4	14,4	2,7	2,7		
Tipo	Part/Cheg		Part/Cheg	Nº	Tipo	Hora
REG	06:48		06:10	7	R	5 R5
REG	06:52		06:13	8	R	7 R7
REG	06:53		07:32	1	R	9 R9
REG	06:56		07:35	2	R	11 R11
REG	08:14		07:36	9	R	13 R13
REG	08:15		08:54	3	R	13 R13
REG	09:35		08:55	10	R	14 R14
REG	09:36		10:15	4	R	15 R15
REG	10:54		10:16	11	R	16 R16
REG	10:55		11:34	5	R	17 R17
REG	12:13		11:35	12	R	18 R18
REG	12:14		12:53	6	R	20 R20

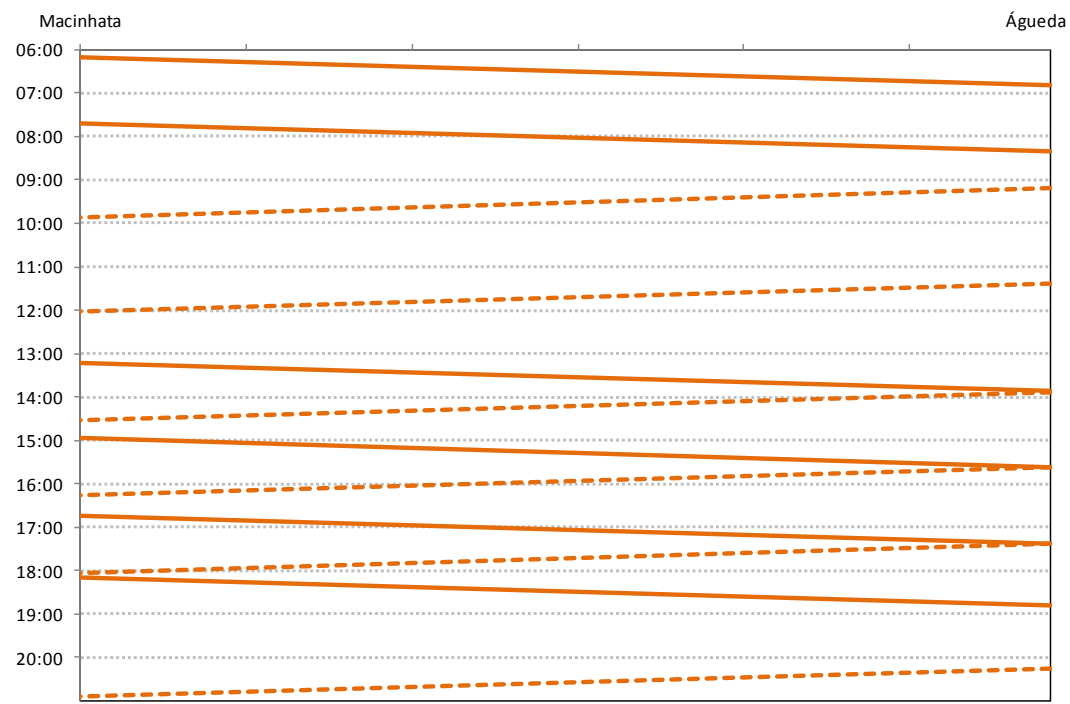


Figura 43. Diagrama espaço-tempo entre Macinhata e Águeda

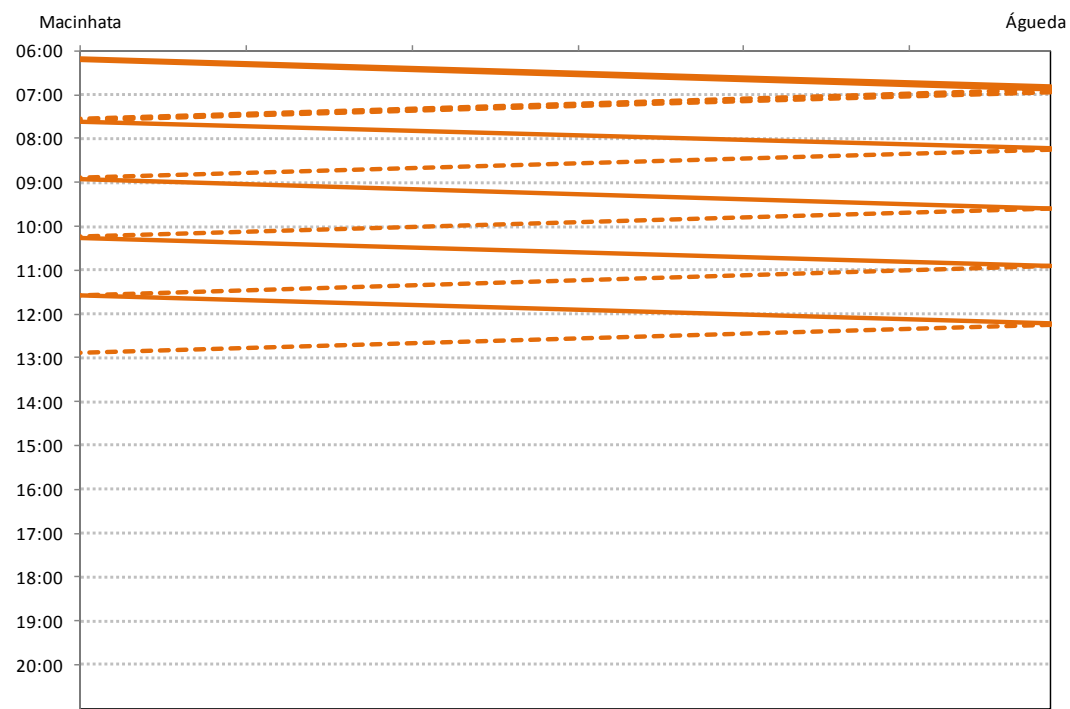


Figura 44. Diagrama espaço-tempo do horário comprimido entre Macinhata e Águeda

Tabela 50. Cálculo da capacidade usada entre Macinhata e Águeda

Janela de tempo (horas:minutos)	24:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	06:43
Fator de segurança (%)	30
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	08:43
Capacidade usada (%)	36,38

- Levantamento do horário entre Oliveira de Azeméis e Espinho

Tabela 51. Horário dos comboios entre Oliveira de Azeméis e Espinho

Sentido Oliv. Azeméis - Espinho									
Oliv.	Azeméis		S. João da Madeira		Vila da Feira		Paços de Brandão		Espinho (Vouga)
Km	32,747		24,867		24,867		19,502		19,502
							9,042		9,042
									0,694
Tipo	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Nº Tipo Hora
REG	07:15	07:30	07:31	07:41	07:42	08:01	08:02	08:18	1 R 7 R7
REG	08:16	08:30	08:31	08:41	08:42	09:02	09:03	09:19	2 R 8 R8
REG	09:58	10:14	10:15	10:25	10:26	10:44	10:45	11:01	3 R 9 R9
REG	12:20	12:34	12:35	12:45	12:46	13:05	13:06	13:22	4 R 12 R12
REG	14:40	14:54	14:55	15:05	15:06	15:25	15:26	15:42	5 R 14 R14
REG	15:58	16:13	16:14	16:25	16:26	16:44	16:45	17:01	6 R 15 R15
REG	18:24	18:38	18:39	18:49	18:50	19:09	19:10	19:26	7 R 18 R18
REG	20:44	20:58	20:59	21:09	21:10	21:29	21:30	21:46	8 R 20 R20

Tabela 52. Horário dos comboios entre Espinho e Oliveira de Azeméis

Sentido Espinho - Oliv. Azeméis									
Espinho	Paços de Brandão		Vila da Feira		S. João da Madeira		Oliv. Azeméis		
(Vouga)	0,694		9,042		19,502		24,867		32,747
Tipo	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Nº Tipo Hora
REG	06:43	6:58	06:59	7:17	7:18	7:29	07:30	07:46	9 R 6 R6
REG	08:45	9:01	09:02	9:20	9:21	9:31	09:32	09:48	10 R 8 R8
REG	09:26	9:41	09:42	10:01	10:02	10:13	10:14	10:29	11 R 9 R9
REG	11:10	11:25	11:26	11:44	11:45	11:55	11:56	12:12	12 R 11 R11
REG	13:30	13:45	13:46	14:04	14:05	14:15	14:16	14:32	13 R 13 R13
REG	15:50	16:05	16:06	16:26	16:27	16:37	16:38	16:53	14 R 15 R15
REG	17:10	17:25	17:26	17:44	17:45	17:55	17:56	18:12	15 R 17 R17
REG	19:34	19:49	19:50	20:08	20:09	20:19	20:20	20:36	16 R 19 R19

- Divisão da linha

A divisão da Linha do Vouga entre Espinho (Vouga) e Oliveira de Azeméis foi efetuada nas estações onde o cruzamento de comboios em sentidos opostos é possível ao longo dos 32,053 km que a compõem. Fez-se então a análise da capacidade para os seguintes troços: Oliveira de Azeméis – S. João da Madeira, S. João da Madeira – Vila da Feira, Vila da Feira – Paços de Brandão e Paços de Brandão – Espinho (Vouga).

- Compressão do horário

De imediato, apresentam-se as tabelas e diagramas relativos ao troço Oliveira de Azeméis – S. João da Madeira, sendo os restantes apresentados no Anexo-D.

Tabela 53. Horário dos comboios entre Oliveira de Azeméis e S. João da Madeira

Troço Oliv. Azeméis - S. João da Madeira							
Oliv. Azeméis			S. João da Madeira				
Km	32,747	32,747	24,867	24,867			
Tipo	Part/Cheg		Part/Cheg	Nº	Tipo	Hora	
REG	07:15		07:30	1	R	7	R7
REG	07:46		07:30	9	R	6	R6
REG	08:16		08:30	2	R	8	R8
REG	09:48		09:32	10	R	8	R8
REG	09:58		10:14	3	R	9	R9
REG	10:29		10:14	11	R	9	R9
REG	12:12		11:56	12	R	11	R11
REG	12:20		12:34	4	R	12	R12
REG	14:32		14:16	13	R	13	R13
REG	14:40		14:54	5	R	14	R14
REG	15:58		16:13	6	R	15	R15
REG	16:53		16:38	14	R	15	R15
REG	18:12		17:56	15	R	17	R17
REG	18:24		18:38	7	R	18	R18
REG	20:36		20:20	16	R	19	R19
REG	20:44		20:58	8	R	20	R20

Tabela 54. Horário comprimido entre Oliveira de Azeméis e S. João da Madeira

Troço Oliv. Azeméis - S. João da Madeira (Compressão do Horário)							
Oliv. Azeméis			S. João da Madeira				
Km	32,747	32,747	24,867	24,867			
Tipo	Part/Cheg		Part/Cheg	Nº	Tipo	Hora	
REG	07:15		07:30	1	R	7	R7
REG	07:49		07:33	9	R	6	R6
REG	07:52		08:06	2	R	8	R8
REG	08:25		08:09	10	R	8	R8
REG	08:28		08:44	3	R	9	R9
REG	09:02		08:47	11	R	9	R9
REG	09:06		08:50	12	R	11	R11
REG	09:09		09:23	4	R	12	R12
REG	09:42		09:26	13	R	13	R13
REG	09:45		09:59	5	R	14	R14
REG	09:48		10:03	6	R	15	R15
REG	10:21		10:06	14	R	15	R15
REG	10:25		10:09	15	R	17	R17
REG	10:28		10:42	7	R	18	R18
REG	11:01		10:45	16	R	19	R19
REG	11:04		11:18	8	R	20	R20

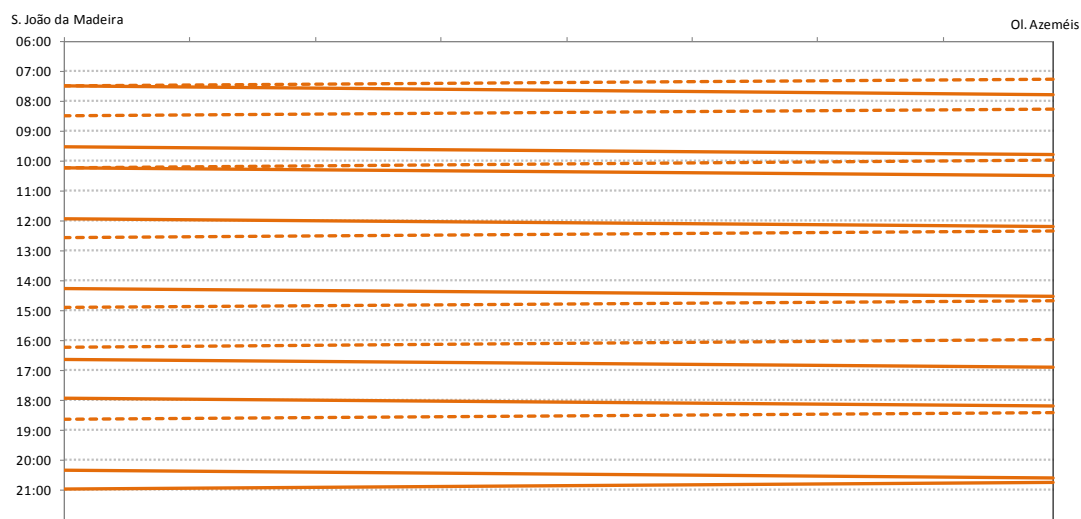


Figura 45. Diagrama espaço-tempo entre Oliveira de Azeméis e S. João da Madeira

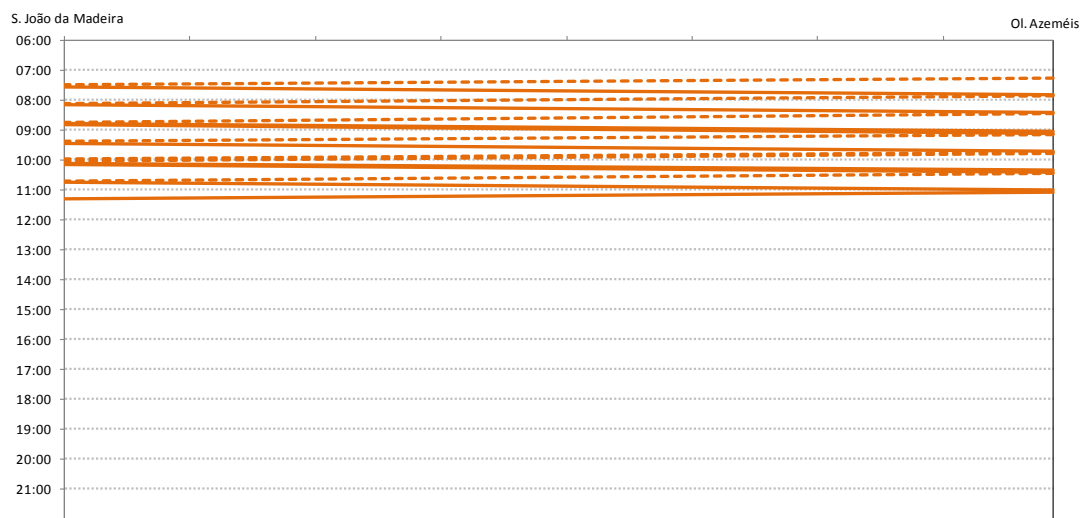


Figura 46. Diagrama espaço-tempo do horário comprimido entre Oliveira de Azeméis e S. João da Madeira

Tabela 55. Cálculo da capacidade usada entre Oliveira de Azeméis e S. João da Madeira

Janela de tempo (horas:minutos)	24:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	04:03
Fator de segurança (%)	30
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	05:15
Capacidade usada (%)	21,94

- Capacidade usada

A Tabela 56 resume os valores obtidos para a capacidade usada na Linha do Vouga, onde se pode concluir que os valores da capacidade usada são bastante baixos tal como seria de esperar tendo em conta o escasso volume de circulações atuais nesta linha. É também de

notar nesta tabela a relação direta entre a distância do troço analisado e o respetivo valor de capacidade usada na medida em que, quanto maior é o troço analisado, maior é o tempo de ocupação do mesmo e por consequência maior será a capacidade usada.

Tabela 56. Capacidade usada na Linha do Vouga

Troço	Distância (Km)	Capacidade Usada (%)
Aveiro - Eixo	9,9	24
Eixo - Eirol	4,1	14
Eirol - Águeda	9,3	31
Águeda - Macinhata	11,7	36
Macinhata - Sernada do Vouga	2,7	10
Oliveira de Azeméis - S. João da Madeira	7,9	22
S. João da Madeira - Vila da Feira	5,4	15
Vila da Feira - Paços de Brandão	10,5	28
Paços de Brandão - Espinho (Vouga)	8,3	25

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS, DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

5.1. Estudo de Caso nº1: Linha do Norte

Os valores obtidos para o troço da Linha do Norte, analisado entre as estações de Aveiro e Porto – Campanhã, sugerem que a Linha do Norte, mesmo sendo a “espinha dorsal” da infraestrutura ferroviária, não se encontra sobrecarregada em termos de capacidade usada. O valor máximo obtido para as horas de ponta (das 16h às 19h) foi de 82% entre Gaia (Devesas) e Granja. Embora seja um indicador que aparenta ser alto, lembre-se que o valor da capacidade usada, calculada pelo método da ficha UIC 406 utilizado nesta dissertação, pode ser superior a 100%. De qualquer modo, tal não significa que se encontram comboios a mais em circulação, mas sim que o funcionamento e a pontualidade da circulação nesta linha não são satisfatórios, do que se conclui que o valor obtido de 82% nas horas de ponta é então um valor aceitável. Fazendo a mesma análise para um período de vinte e quatro horas, o valor máximo obtido foi de 52% da capacidade usada e também se verificou entre as estações de Gaia – Devesas e Granja.

Após o exposto, pode concluir-se que os valores atrás apresentados permitem perceber que a Linha do Norte, entre Aveiro e Porto – Campanhã, tem ainda capacidade disponível, no entanto os troços Gaia (Devesas) – Granja e Granja – Ovar apresentam valores de capacidade usada relativamente altos. A diferença dos valores entre a análise efetuada para as horas de ponta e a análise numa janela de 24 horas deve-se ao facto de a grande percentagem dos comboios que circulam no troço mais crítico (Gaia – Granja) serem comboios que efetuam o serviço urbano, ou seja, comboios que necessitam de maior cadência nas horários de entrada e saída dos passageiros dos respetivos empregos.

5.2. Estudo de Caso nº2: Ramal do Porto de Aveiro

O Ramal do Porto de Aveiro, com 8,8 km de linha única–não eletrificada, em funcionamento desde 2010 e que faz a ligação entre o Porto de Aveiro e a Plataforma Logística do Porto de Aveiro (Linha do Norte), apresentou, à data da realização desta dissertação, o valor de cerca de 29% da capacidade usada, permite perceber que esta linha ainda se encontra longe do seu limite, em termos de capacidade. Estando prevista a

eletrificação deste ramal, é de esperar que a sua capacidade usada aumente dada a sua maior competitividade em termos de custos de movimentação de mercadorias.

5.3. Estudo de Caso nº3: Linha do Vouga

A Linha do Vouga, linha simples com cruzamento de comboios permitido em certas estações, é principalmente caracterizada por ser de bitola métrica. Os valores mais elevados obtidos para a capacidade foram de 36% e 31% nos troços de Águeda – Macinhata e Eirol – Águeda respetivamente, os quais indicam que a capacidade usada na Linha do Vouga se encontra ainda longe do limite.

5.4. Conclusões

Após a realização dos cálculos da capacidade usada, através do método sugerido pela União Internacional dos Caminhos de Ferro (UIC 406), é possível concluir que nas linhas analisadas (Linha do Norte entre Aveiro e Porto (Campanhã), Ramal do Porto de Aveiro e Linha do Vouga) a capacidade usada ainda se encontra um pouco longe do limite. Os troços com os valores mais elevados são Gaia – Granja e Granja – Ovar, que apresentam valores de capacidade usada de 82% e 65% respetivamente, tendo como base as horas de ponta (entre as 16h e as 19h).

Comparando os valores obtidos nas horas de ponta e os valores alcançados quando a análise é feita para vinte e quatro horas, percebe-se que, mesmo a Linha do Norte sendo o principal elo de ligação entre o norte e o sul do país por via ferroviária, ainda há capacidade disponível.

É possível também observar o paradoxo existente neste método de análise, quando comparando os valores dos troços Porto (Campanhã) – Gaia (Devesas) e Gaia (Devesas) – Granja. Tendo em conta que o número de comboios é sensivelmente o mesmo, com uma diferença de apenas dois comboios em vinte e quatro horas, seria de esperar que os valores da capacidade fossem semelhantes, no entanto, os valores obtidos foram de 53% para Porto – Gaia e 82% para Gaia – Granja. Esta diferença é entendida pela influência que o comprimento de cada troço tem neste método de cálculo da capacidade. Como o troço de Porto – Gaia tem apenas 3,840km, os comboios demoram menos tempo para o libertar, comparativamente com o troço Gaia – Granja que tem 11,845km. Como este método faz a comparação entre o tempo

de ocupação da linha com a janela de tempo que se optou por analisar, quanto mais curto for o troço, mais baixos serão os valores da capacidade usada.

Neste estudo foi ao mesmo tempo possível perceber a importância do tempo que separa dois comboios consecutivos, estando este relacionado com o espaçamento entre os sinais ou distância de cantonamento. No entanto, os valores obtidos neste ponto, não são totalmente corretos, pois nesta análise admitiu-se que os comboios circulavam à mesma velocidade independentemente do tempo de separação de comboios. Ao haver um tempo de separação mais elevado implica uma distância de cantonamento maior, ou seja, o comboio pode circular a velocidades maiores, logo os valores “reais” de capacidade são ligeiramente discrepantes dos obtidos.

As principais conclusões a reter deste estudo são então que as linhas da rede ferroviária portuguesa analisadas se encontram com valores de capacidade usada aceitáveis, no entanto os troços Gaia – Granja e Granja – Ovar são troços onde o valor da capacidade usada são ainda aceitáveis mas começam a aproximar-se do limite.

5.5. Propostas de trabalhos futuros

Devido à necessidade de se encontrarem alternativas ao transporte rodoviário, e sendo o transporte ferroviário a melhor opção para movimentação de pessoas e bens a nível nacional, torna-se imperioso conhecer melhor em que estado se encontra a infraestrutura ferroviária portuguesa em termos de capacidade usada. Sugere-se então que seja feita a mesma análise pelo método proposto na ficha UIC 406 para outras linhas, nomeadamente para a Linha do Minho, com especial atenção ao troço Porto (Campanhã) – Ermesinde, onde se cruzam comboios de três serviços Urbanos do Porto (Linha de Caíde/Marco de Canaveses, Linha de Guimarães e Linha de Braga), sendo assim previsível um elevado número de comboios neste troço. A Linha do Sul, por ser maioritariamente de linha única, poderia igualmente ser um útil objeto de análise, em termos de capacidade. A Linha do Oeste, também por ser de linha única, mas principalmente por ser a única alternativa à Linha do Norte na ligação entre o Norte e o Sul do país, poderia também ser estudada em termos de capacidade usada.

O estudo apresentado nesta dissertação no Estudo de Caso nº1, limita-se apenas ao troço da Linha do Norte entre Porto (Campanhã) e Aveiro pois seria o troço onde seria de prever que a capacidade usada fosse mais elevada devido aos comboios Urbanos entre estas duas

idades, no entanto sugere-se que seja feita a mesma análise para o restante da Linha do Norte, dada a importância que esta linha tem no transporte ferroviário nacional.

Relativamente ao Ramal do Porto de Aveiro, estando prevista a eletrificação do mesmo nos próximos anos, será de esperar um aumento da circulação de comboios neste ramal por aumento da competitividade em termos de custos de movimentação de mercadorias. A verificar-se o aumento da circulação de comboios nessa situação, será também importante fazer a análise da capacidade segundo o método usado nesta dissertação de maneira a poder ser feita a comparação entre antes e depois da eletrificação do ramal e que consequências teve na capacidade usada.

Estando previstos grandes investimentos na infraestrutura ferroviária portuguesa, será aconselhável proceder a esta análise da capacidade, não meramente em termos do presente, mas sim numa perspectiva de futuro de modo a prever de que forma o aumento de comboios em circulação tem influência na capacidade da infraestrutura. Esta análise pode ser feita não só através do método utilizado nesta dissertação (UIC 406), mas também através de software informático, apresentado no capítulo 4 desta dissertação, que permite fazer a simulação das operações da rede, podendo também ser feita a verificação da capacidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril, M., Barber, F., Ingolotti, L., Salido, M.A., Tormos, P., & Lova, A. (2007), An Assessment of railway capacity. *Elsevier*, pp. 774-782.
- AEA Technology Rail, CMS: *Capacity Management Systems, VISION, VAMPIRE*, <http://www.aeat.co.uk/rail/>.
- Fialho, J. (2013), *Simulation for Railway Capacity Determination*, Ph. D. Thesis, Instituto Superior Técnico, Portugal.
- Forsgren, M. (2003), *Computation of Capacity on Railway Networks, Technical Report*, Swedish Institute of Computer Science.
- Fortunato, E. (2009), *O País Logístico Por Modo Ferroviário*. Relatório de Projeto, Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa, Portugal.
- Hansen, S. (2004), *Large Transport Infrastructure Investments and Their Strategic Impacts with a Special Focus on Enterprises*, Technical University of Denmark.
- International Union of Railways (2004), *UIC CODE 406*, 1st edition, June 2004.
- Landex, A. (2008) *Methods to Estimate Railway Capacity and Passenger Delays*, Ph. D. Thesis, Thecnical University of Denmark – Department of Transport, Denmark.
- Longo, G. & Stok, R. (2007), *Estimation of railway capacity using stochastic differential equations*, Proceedings of the 2nd International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis, eds. I.A. Hansen, A. Radtke, J.P. Pacht & E. Wendler, International Association of Railway Operations Research, Hannover, Germany.
- Lucchini, L., Curchod, A. (2001), *Transalpine Rail Network: A Capacity Assessment Model (capres)*, First Swiss Transport Research Conference.
- Maia, L. (2008) *O Transporte Ferroviário de Mercadorias: O Caso Europeu*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto, Portugal.
- Multimodal Applied Systems, MultiRail and FastTrack II, <http://www.multimodalinc.com>.
- Petersen, E. (1974), *Over-the-road transit time for a single track railway*. Transportation Science 8, 65–74.
- Egmond, R.J. van., (1999), *Railway Capacity Assessment, an Algebraic Approach*, TRAIL

- Studies in Transportation Science*, S99/2, Delf University Press.
- Prinz, R., Hollmuller, J. *Implementation of the UIC 406 Capacity Calculation Method at Austrian Railways (OBB)*, Austria.
- Rede Ferroviária Nacional EPE, *Diretório de Rede 2015*, www.refer.pt.
- Rothengatter, W. (1996), *Bottlenecks in European Transport Infrastructure*, Proceedings of the 24th PTRC European Transport Forum, PTRC, England.
- Skartsæterhagen, S. (1993), *Capacity of railway lines (Kapacitet på jernbanestrekninger)*, Institute for Energy Technology, Norway, in Norwegian.
- SMA and Partner, Viriato: *A Software Package for Net-Wide Railway Planning*, <http://www.sma-partner.ch>.
- SNCF and Eurodecision, 2004, *Demiurge: A Tool for the Optimisation and the Capacity Assessment for Railway Infrastructure*.
- Stratec, Railcap: *A Computer Tool for Studying Capacity Problems of Railway Networks*. <http://www.stratec.be/FichesEtudes/PlanGBrailcap.htm>.
- UIC Leaflet 406, (2004). *Capacity*, International Union of Railways.
- “Rede Ferroviária Nacional – REFER, EPE” [Online] Available: <http://www.refer.pt> [acedido em Outubro de 2013].
- “Comboios de Portugal, EPE” [Online] Available: <http://www.cp.pt> [acedido em Outubro 2013].
- “Instituto Nacional de Estatística” [Online] Available: <http://www.ine.pt> [acedido em Novembro de 2013].
- “Wikipedia,” [Online]. Available: http://pt.wikipedia.org/wiki/Série_0350_da_CP. [Acedido em Agosto 2014].
- “Wikipedia,” [Online]. Available: http://pt.wikipedia.org/wiki/Série_1930_da_CP. [Acedido em Agosto 2014].
- “Wikipedia,” [Online]. Available: http://pt.wikipedia.org/wiki/Série_1900_da_CP. [Acedido em Agosto 2014].
- “Wikipedia,” [Online]. Available: http://pt.wikipedia.org/wiki/Série_2300_da_CP. [Acedido em Agosto 2014].
- “Wikipedia,” [Online]. Available: http://pt.wikipedia.org/wiki/Série_3500_da_CP. [Acedido em Agosto 2014].

“Wikipedia,” [Online]. Available: http://pt.wikipedia.org/wiki/Série_3200_da_CP. [Acedido em Agosto 2014].

“Wikipedia,” [Online]. Available: http://pt.wikipedia.org/wiki/Série_3150_da_CP. [Acedido em Agosto 2014].

“Wikipedia,” [Online]. Available: http://pt.wikipedia.org/wiki/Série_2400_da_CP. [Acedido em Agosto 2014].

Anexo – A

Mapas da Rede Ferroviária Nacional

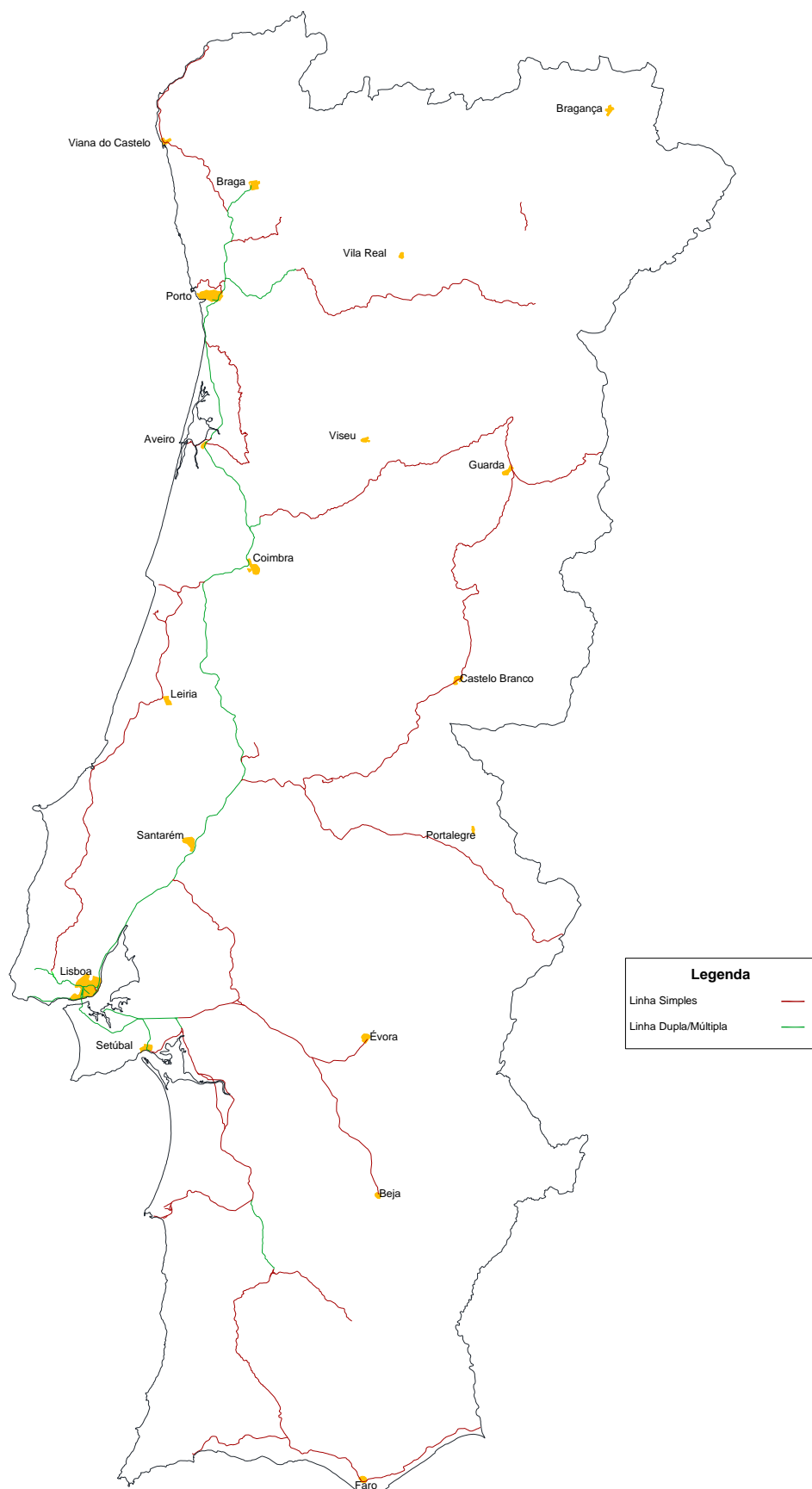


Figura 47. Tipologia das vias

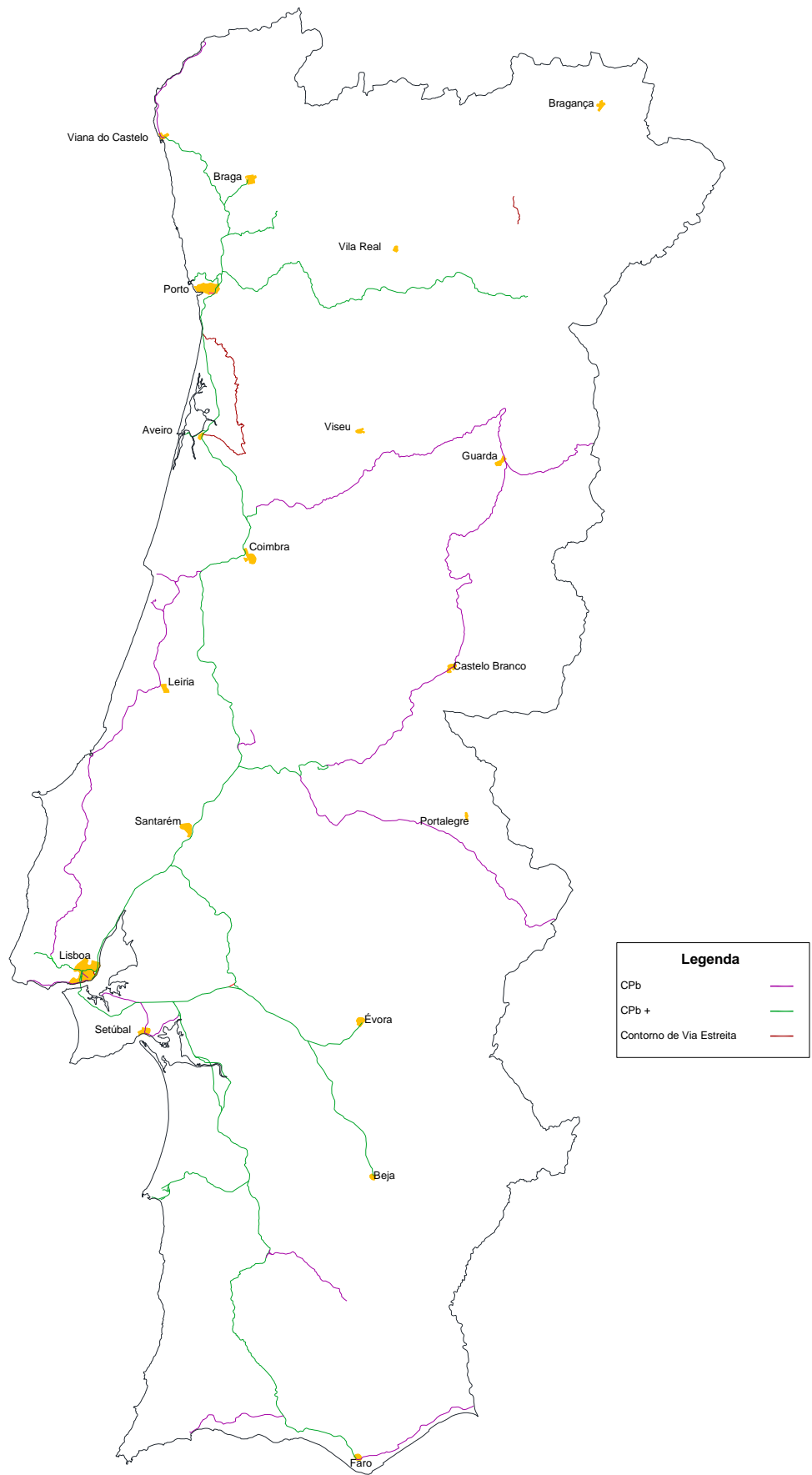


Figura 48. Contornos de referência

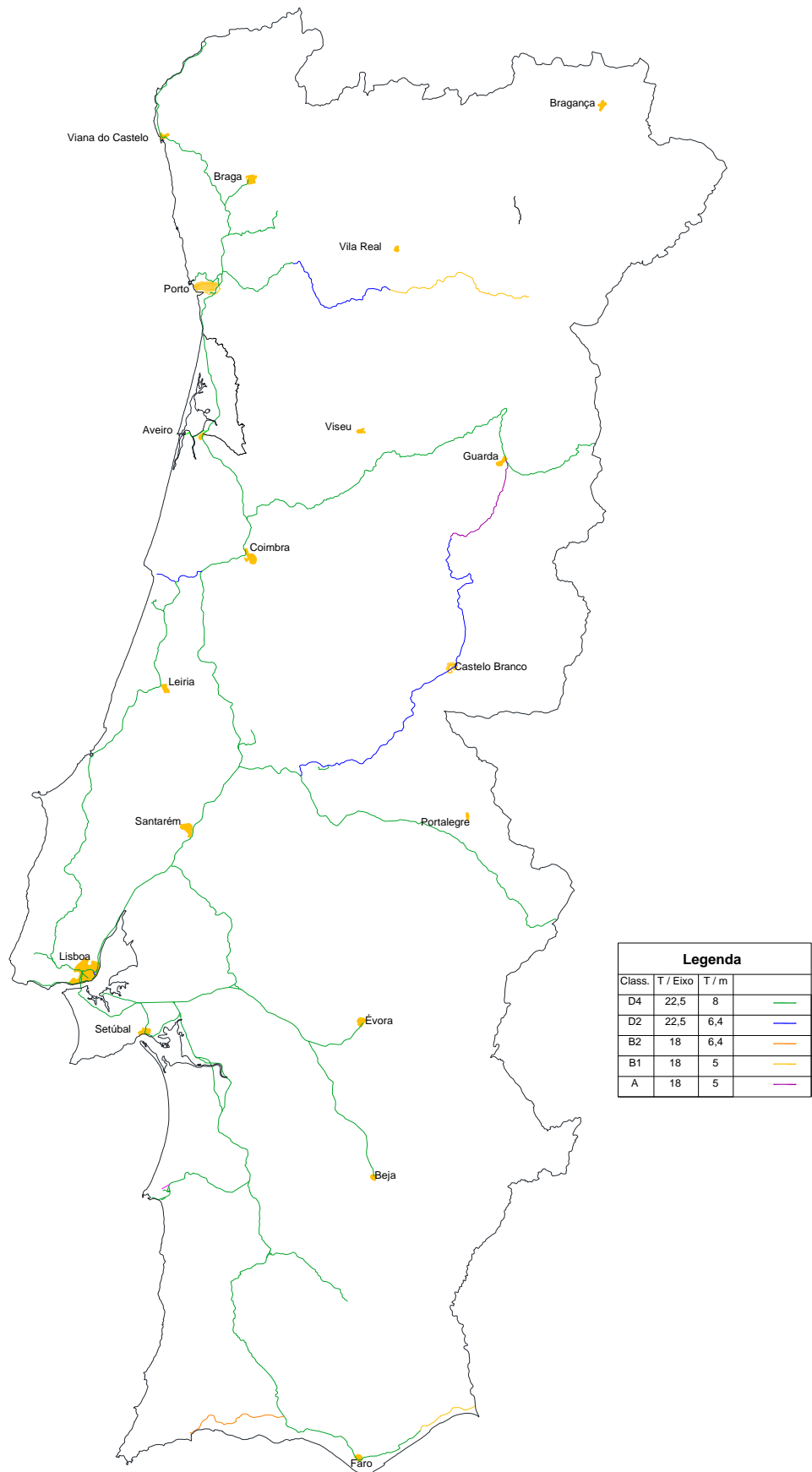


Figura 49. Cargas máximas

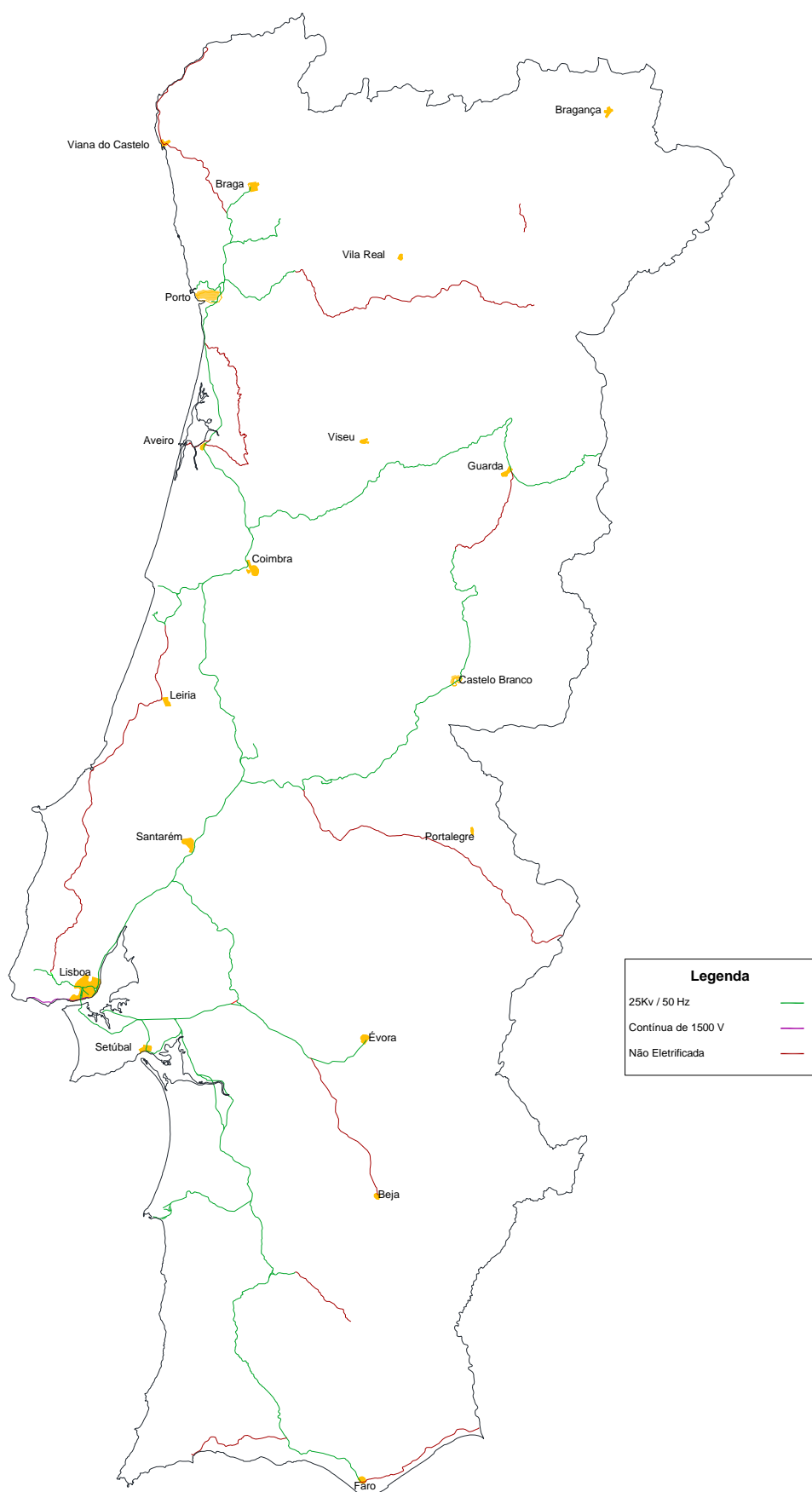


Figura 50. Troços de linha eletrificada

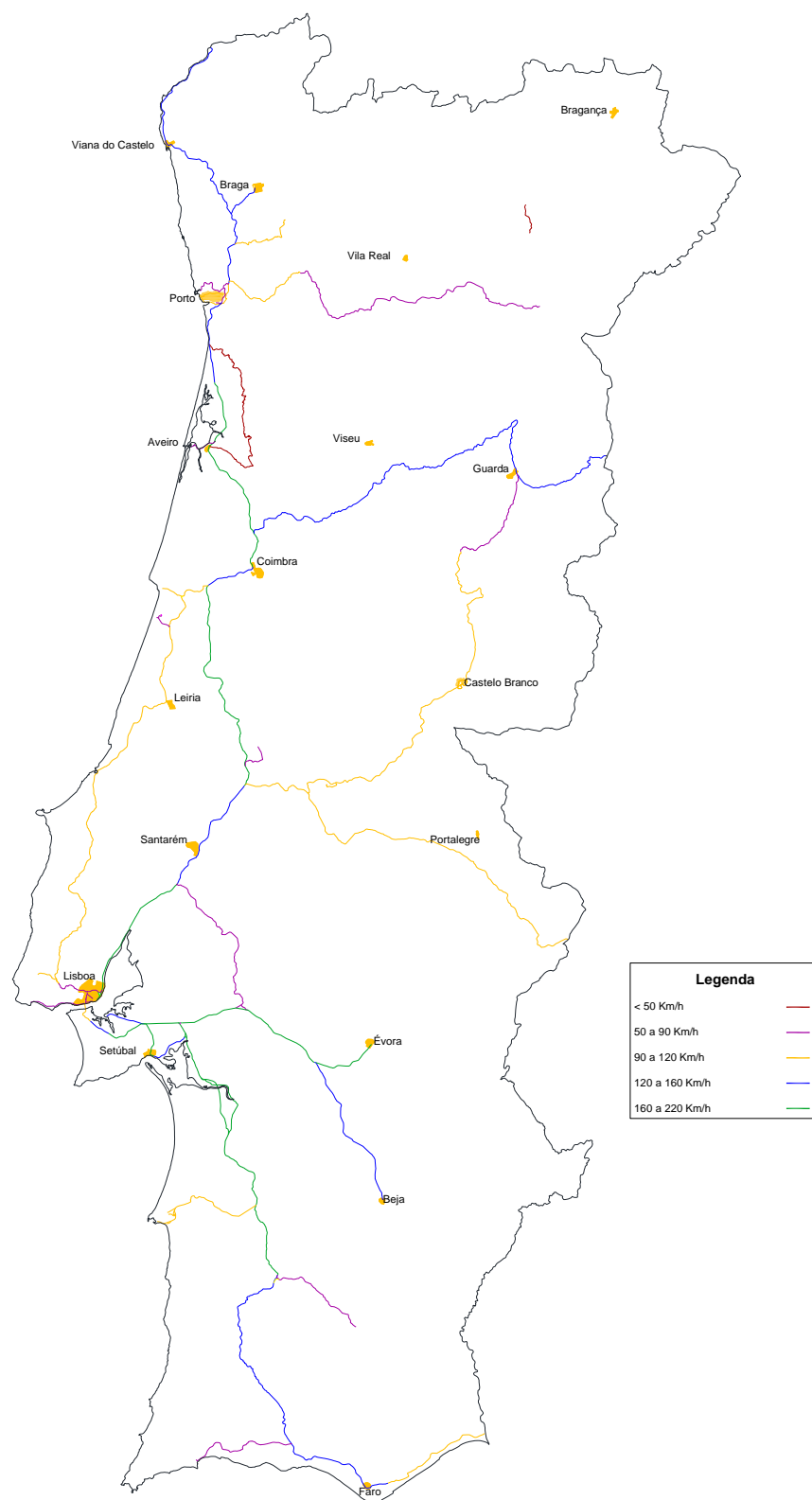


Figura 51. Patamares de velocidade máxima

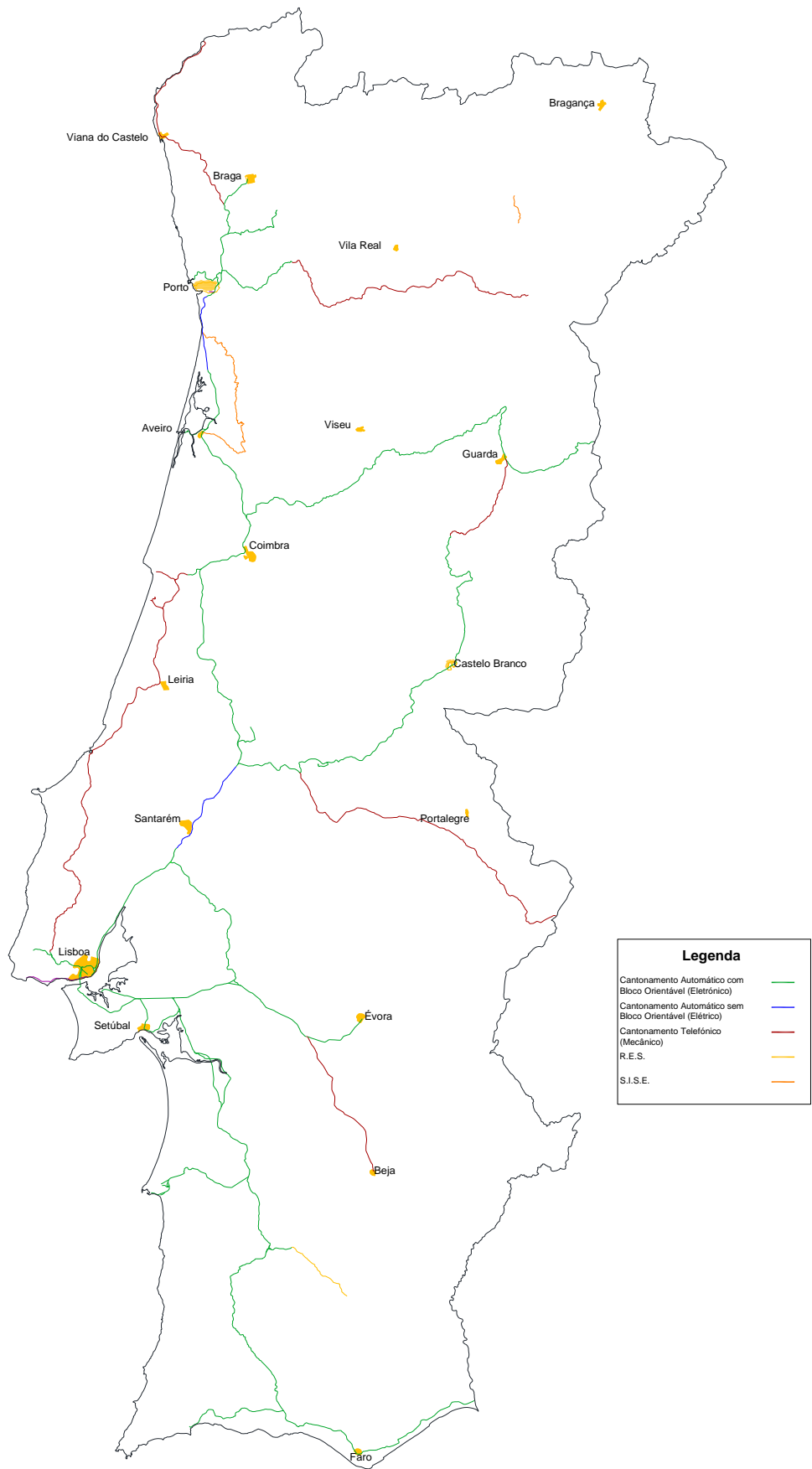


Figura 52. Tipos de comando

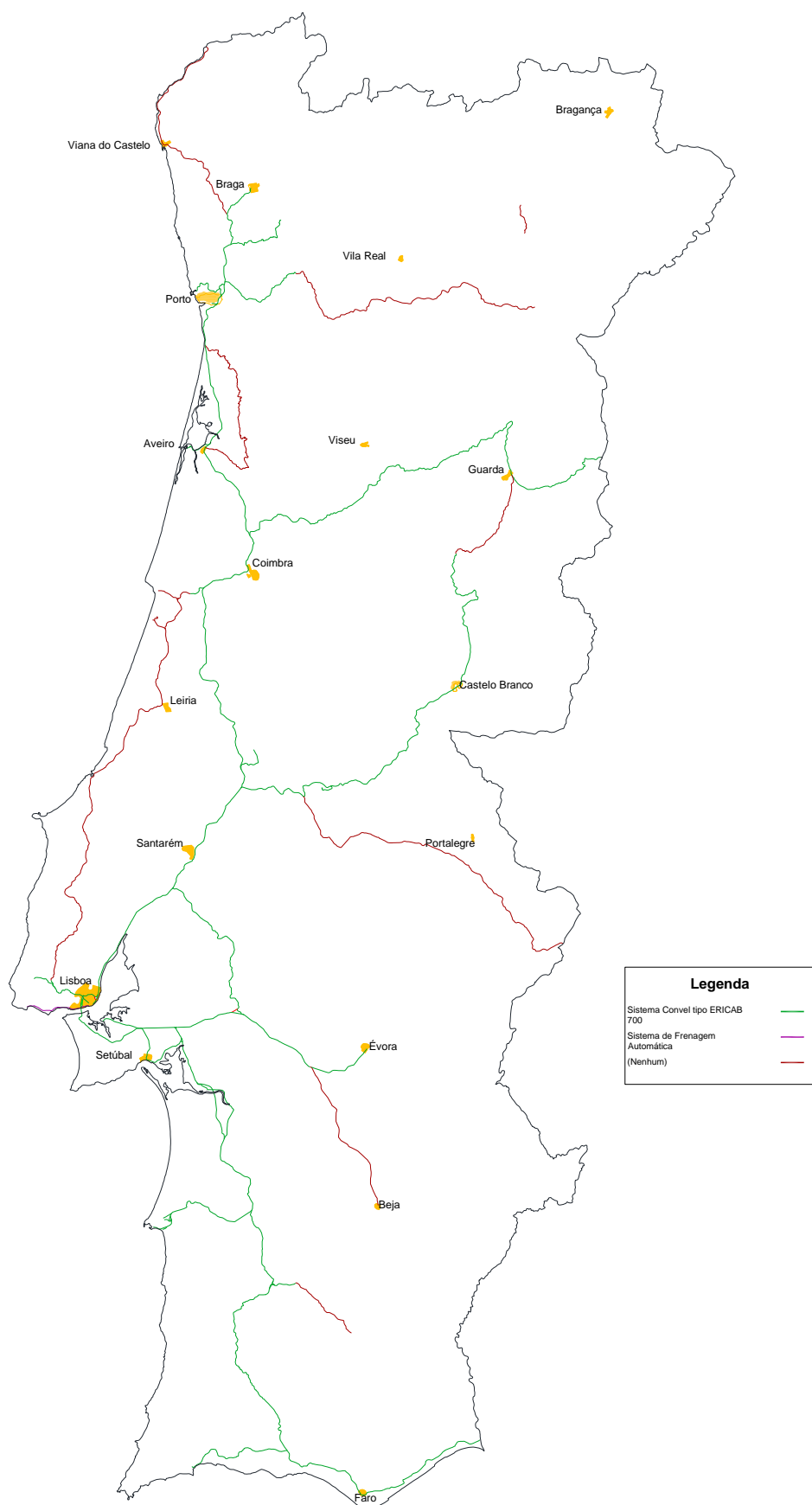


Figura 53. Sistemas de controlo de velocidade

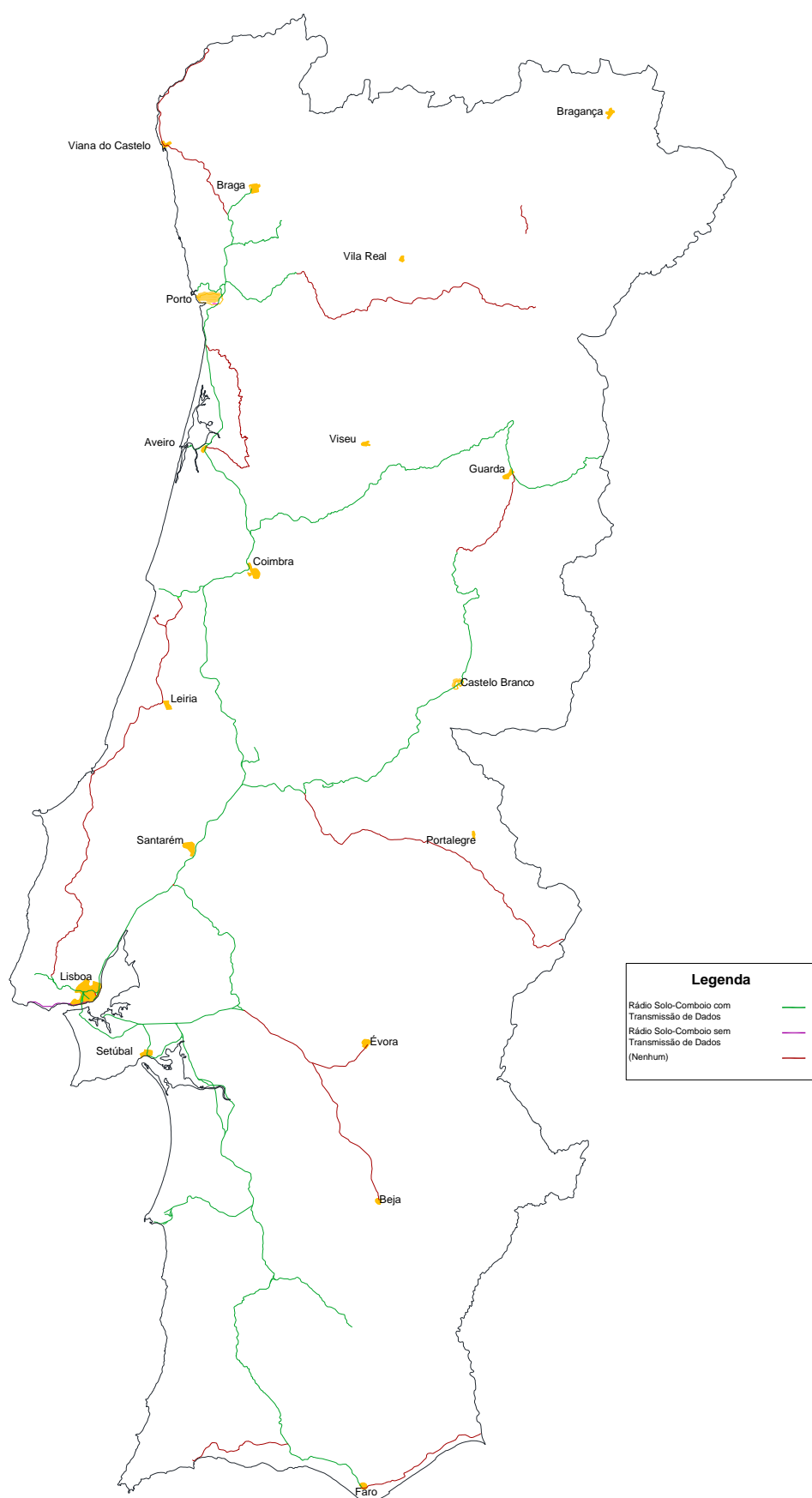


Figura 54. Rádio solo-comboio

Anexo – B
Material Circulante

- Material Circulante – Frota Atual

Neste anexo, é apresentado o material circulante (locomotivas, automotoras e vagões) à data da realização desta dissertação. Apesar da informação presente neste anexo não ter sido relevante para a realização desta dissertação pela forma como os cálculos foram efetuados usando os horários existentes, pode ser útil em futuros estudos da capacidade usada, nomeadamente a informação relativa à velocidade máxima. É apresentada apenas um pouco de informação relativa a cada locomotiva ou automotora como: unidades operacionais; ano de entrada ao serviço; velocidade máxima; tipo de transmissão.

- Automotoras *diesel*

As automotoras *diesel* representam um conjunto indeformável de veículos ferroviários de transporte de passageiros, sendo um ou mais dotados de motores que funcionam a *diesel*.

- Série 0350

Tabela 57. Dados sobre Automotora Série 0350

Unidades operacionais	19
Ano de entrada ao serviço	2000 (após modernização)
Velocidade máxima (km/h)	100
Tipo de transmissão	Elétrica



Figura 55. Automotoras Série 0350 em Serpins (Wikipédia, 2014)

- Série 0450

Tabela 58. Dados sobre Automotora Série 0450

Unidades operacionais	19
Ano de entrada ao serviço	1999 (após modernização)
Velocidade máxima (km/h)	120
Tipo de transmissão	Mecânico-hidráulica



Figura 56. Automotoras Série 0450 (ao centro e à direita) e Série 3400 (à esquerda) em Contumil (Porto)

- Série 9600

Tabela 59. Dados sobre Automotora Série 9600

Unidades operacionais	7
Ano de entrada ao serviço	1991 (após modernização)
Velocidade máxima (km/h)	90
Tipo de transmissão	Elétrica



Figura 57. Automotora série 9600 na Linha do Vouga

- Automotoras elétricas

As automotoras elétricas representam um conjunto indeformável de veículos ferroviários de transporte de passageiros, sendo um ou mais dotados de motores que utilizam a corrente elétrica como fonte de alimentação.

- Série 2400

Tabela 60. Dados sobre Automora Série 2400

Unidades operacionais	14
Ano de entrada ao serviço	1997
Velocidade máxima (km/h)	120
Tipo de transmissão	Elétrica assíncrona



Figura 58. Automotora Série 2400 em Sintra (Wikipédia, 2014)

- Série 3150

Tabela 61. Dados sobre Automotora Série 3150

Unidades operacionais	17
Ano de entrada ao serviço	1998 (após modernização)
Velocidade máxima (km/h)	90
Tipo de transmissão	Elétrica



Figura 59. Automotora Série 3150 na Linha de Cascais (Wikipédia,2014)

▪ Série 3250

Tabela 62. Dados sobre Automotora Série 3250

Unidades operacionais	17
Ano de entrada ao serviço	1998 (após modernização)
Velocidade máxima (km/h)	90
Tipo de transmissão	Elétrica assíncrona



Figura 60. Automotora Série 3250 na Linha de Cascais (Wikipédia, 2014)

Série 2240

Tabela 63. Dados sobre Automotora Série 2240

Unidades operacionais	57
Ano de entrada ao serviço	2004 (após modernização)
Velocidade máxima (km/h)	120
Tipo de transmissão	Elétrica assíncrona



Figura 61. Automotora Série 2240 na Linha do Norte

- Série 3400

Tabela 64. Dados sobre Automotora Série 3400

Unidades operacionais	34
Ano de entrada ao serviço	2002
Velocidade máxima (km/h)	140
Tipo de transmissão	Elétrica assíncrona



Figura 62. Automotora Série 3400 na Linha do Norte

- Série 3500

Tabela 65. Dados sobre Automotora Série 3500

Unidades operacionais	30
Ano de entrada ao serviço	1999
Velocidade máxima (km/h)	140
Tipo de transmissão	Elétrica assíncrona



Figura 63. Automotora Série 3500 em Corroios (Wikipédia, 2014)

- Série 2300

Tabela 66. Dados sobre Automotora Série 2300

Unidades operacionais	39
Ano de entrada ao serviço	1992
Velocidade máxima (km/h)	120
Tipo de transmissão	Elétrica assíncrona



Figura 64. Automotora Série 2300 em Sete Rios (Wikipédia, 2014)

- Série 4000

Tabela 67. Dados sobre Automotora Série 4000

Unidades operacionais	10
Ano de entrada ao serviço	1999
Velocidade máxima (km/h)	220
Tipo de transmissão	Elétrica assíncrona



Figura 65. Automotora Série 4000 na Linha do Norte

- Locomotivas *diesel*

As locomotivas correspondem aos veículos tratores, utilizados normalmente para mover carruagens de passageiros ou vagões de mercadorias, neste caso movidos a *diesel*.

- Série 1400

Tabela 68. Dados sobre Locomotiva Série 1400

Unidades operacionais	26
Ano de entrada ao serviço	1967-1969
Velocidade máxima (km/h)	105
Tipo de transmissão	Elétrica



Figura 66. Locomotiva Série 1400 em Contumil (Porto)

- Série 1900

Tabela 69. Dados sobre Locomotiva Série 1900

Unidades operacionais	11
Ano de entrada ao serviço	1981
Velocidade máxima (km/h)	100
Tipo de transmissão	Elétrica



Figura 67. Locomotiva Série 1900 em Alcácer do Sal (Wikipédia, 2014)

- Série 1960

Tabela 70. Dados sobre Locomotiva Série 1960

Unidades operacionais	8
Ano de entrada ao serviço	1979
Velocidade máxima (km/h)	120
Tipo de transmissão	Elétrica



Figura 68. Locomotiva Série 1960 no Ramal do Porto de Aveiro

- Série 1930

Tabela 71. Dados sobre Locomotiva Série 1930

Unidades operacionais	8
Ano de entrada ao serviço	1981
Velocidade máxima (km/h)	1220
Tipo de transmissão	Elétrica



Figura 69. Locomotiva Série 1930 em Évora (Wikipédia, 2014)

- Locomotivas elétricas

As locomotivas correspondem aos veículos tratores, utilizados normalmente para mover carruagens de passageiros ou vagões de mercadorias, sendo que as que se apresentam de seguida são alimentadas por corrente elétrica.

- Série 5600

Tabela 72. Dados sobre Locomotiva Série 5600

Unidades operacionais	29
Ano de entrada ao serviço	1993
Velocidade máxima (km/h)	220
Tipo de transmissão	Elétrica assíncrona



Figura 70. Locomotiva Série 5600 na Linha do Norte

- Série 4700

Tabela 73. Dados sobre Locomotiva Série 4700

Unidades operacionais	25
Ano de entrada ao serviço	2009
Velocidade máxima (km/h)	140
Tipo de transmissão	Elétrica assíncrona



Figura 71. Locomotivas Série 4700 na Linha do Norte

- Série 6000 (Takargo)

Tabela 74. Dados sobre Locomotiva Série 6000

Unidades operacionais	7
Ano de entrada ao serviço	1991 (após modernização)
Velocidade máxima (km/h)	90
Tipo de transmissão	Elétrica



Figura 72. Locomotiva Série 6000 na Linha do Norte

○ Vagões

De seguida são apresentados os tipos de vagões usados em Portugal. Esta informação pode ser útil na medida em que nem sempre a velocidade de um comboio é limitada pela capacidade da locomotiva, esta também pode ser limitada pelo tipo de carga que o comboio transporta. Esta informação pode também ser útil para saber se um comboio que transporta uma determinada mercadoria pode circular em determinada linha da rede ferroviária nacional, pois a sua carga máxima (peso) pode sobrepor-se à capacidade da linha. De seguida são apresentadas características de cada tipo de vagão usado em Portugal como: o material que transporta; ano de construção; velocidade máxima; carga máxima; volume útil.

▪ Série Tdgs



Figura 73. Vagão da Série Tdgs (CP Carga, 2014)

Tabela 75. Dados sobre o vagão Série Tdgs

Material de transporte	Cereais
Ano de construção	1973-1977
Velocidade máxima (km/h)	100
Carga máxima (Kg)	26.200
Volume útil (m ³)	38

■ Série Tadgs



Figura 74. Vagão da Série Tadgs (CP Carga,2014)

Tabela 76. Dados sobre o vagão Série Tadgs

Material de transporte	Cereais
Ano de construção	1989-1990
Velocidade máxima (km/h)	120
Carga máxima (Kg)	56.600
Volume útil (m ³)	75

■ Série Gabs



Figura 75. Vagão da Série Gabs (CP Carga,2014)

Tabela 77. Dados sobre o vagão Série Gabs

Material de transporte	Coberto com portas de correr
Ano de construção	1977
Ano de modificação	1988
Velocidade máxima (km/h)	100
Carga máxima (Kg)	50.200
Volume útil (m ³)	110

▪ Série His



Figura 76. Vagão da Série His (CP Carga, 2014)

Tabela 78. Dados sobre o vagão Série His

Material de transporte	Coberto com portas de correr
Ano de construção	1977
Velocidade máxima (km/h)	100
Carga máxima (Kg)	27.000
Volume útil (m ³)	60

▪ Série Hikks



Figura 77. Vagão da Série Hikks (CP Carga, 2014)

Tabela 79. Dados sobre o vagão Série Hikks

Material de transporte	Coberto com portas de correr
Ano de construção	1969
Ano de modificação	1988-1989
Velocidade máxima (km/h)	100
Carga máxima (Kg)	23.200
Volume útil (m ³)	63

▪ Série Hccerrs



Figura 78. Vagão da Série Hccerrs (CP Carga,2014)

Tabela 80. Dados sobre o vagão Série Hccerrs

Material de transporte	Transporte automóvel
Ano de construção	1943
Ano de modificação	1993-1994
Velocidade máxima (km/h)	100
Carga máxima (Kg)	22.000
Volume útil (m ³)	80

▪ Série Kbs



Figura 79. Vagão da Série Kbs (CP Carga,2014)

Tabela 81. Dados sobre o vagão Série Kbs

Material de transporte	Com fueiros fixos para rolaria
Ano de construção	1970
Ano de modificação	2005
Velocidade máxima (km/h)	100
Carga máxima (Kg)	25.800
Volume útil (m ³)	33

■ Série Kls



Figura 80. Vagão da Série Kls (CP Carga,2014)

Tabela 82. Dados sobre o vagão Série Kls

Material de transporte	Bordas baixas
Ano de construção	1969
Velocidade máxima (km/h)	100
Carga máxima (Kg)	27.400
Volume útil (m ³)	34,6

■ Série Kbmps



Figura 81. Vagão da Série Kbmps (CP Carga,2014)

Tabela 83. Dados sobre o vagão Série Kbmps

Material de transporte	Com fueiros amovíveis para rolaria
Ano de construção	1956
Ano de modificação	1995-1996
Velocidade máxima (km/h)	100
Carga máxima (Kg)	21.000
Volume útil (m ³)	19,9

▪ Série Rgs



Figura 82. Vagão da Série Rgs (CP Carga,2014)

Tabela 84. Dados sobre o vagão Série Rgs

Material de transporte	Com fueiros rebatíveis
Ano de construção	1987
Velocidade máxima (km/h)	120
Carga máxima (Kg)	57.000
Volume útil (m ³)	51,2

▪ Série Regmms



Figura 83. Vagão da Série Regmms (CP Carga,2014)

Tabela 85. Dados sobre o vagão Série Regmms

Material de transporte	Bordas baixas com fueiros rebatíveis
Ano de construção	1987
Velocidade máxima (km/h)	120
Carga máxima (Kg)	60.600
Volume útil (m ³)	36,5

▪ Série Rlps



Figura 84. Vagão da Série Rlps (CP Carga,2014)

Tabela 86. Dados sobre o vagão Série Rlps

Material de transporte	Vagão plataforma
Ano de construção	1969-1971
Velocidade máxima (km/h)	100
Carga máxima (Kg)	57.100
Volume útil (m ³)	51.2

▪ Série Ldks



Figura 85. Vagão da Série Ldks (CP Carga,2014)

Tabela 87. Dados sobre o vagão Série Ldks

Material de transporte	Transporte automóvel
Ano de construção	1964-1965
Velocidade máxima (km/h)	100
Carga máxima (Kg)	11.000
Volume útil (m ³)	47

▪ Série Laekss



Figura 86. Vagão da Série Laekss (CP Carga,2014)

Tabela 88. Dados sobre o vagão Série Laekss

Material de transporte	Transporte automóvel
Ano de construção	1989-1990
Velocidade máxima (km/h)	120
Carga máxima (Kg)	22.500
Volume útil (m ³)	-

▪ Série Lgs



Figura 87. Vagão da Série Lgs (CP Carga,2014)

Tabela 89. Dados sobre o vagão Série Lgs

Material de transporte	Vagão plataforma
Ano de construção	1989
Ano de modificação	2003
Velocidade máxima (km/h)	120
Carga máxima (Kg)	28.100
Volume útil (m ³)	35,6

- Série Lgnss



Figura 88. Vagão da Série Lgnss (CP Carga,2014)

Tabela 90. Dados sobre o vagão Série Lgnss

Material de transporte	Plataforma para transporte de contentores e caixas móveis
Ano de construção	2010-2011
Velocidade máxima (km/h)	120
Carga máxima (Kg)	31.500
Volume útil (m ³)	-

- Série Sgmms



Figura 89. Vagão da Série Sgmms (CP Carga,2014)

Tabela 91. Dados sobre o vagão Série Sgmms

Material de transporte	Plataforma para transporte de contentores e caixas móveis
Ano de construção	1976
Ano de modificação	2006
Velocidade máxima (km/h)	100
Carga máxima (Kg)	62.500
Volume útil (m ³)	35,3

■ Série Sgs



Figura 90. Vagão da Série Sgs (CP Carga,2014)

Tabela 92. Dados sobre o vagão Série Sgs

Material de transporte	Com fueiros rebatíveis
Ano de construção	1972
Velocidade máxima (km/h)	100
Carga máxima (Kg)	59.500
Volume útil (m ³)	35

■ Série Sgnss



Figura 91. Vagão da Série Sgnss (CP Carga,2014)

Tabela 93. Dados sobre o vagão Série Sgnss

Material de transporte	Plataforma para transporte de contentores e caixas móveis
Ano de construção	2009-2011
Velocidade máxima (km/h)	120
Carga máxima (Kg)	68.400
Volume útil (m ³)	-

▪ Série Sekss



Figura 92. Vagão da Série Sekss (CP Carga,2014)

Tabela 94. Dados sobre o vagão Série Sekss

Material de transporte	Transporte automóvel com 2 pisos
Ano de construção	1973
Velocidade máxima (km/h)	120
Carga máxima (Kg)	12.000
Volume útil (m ³)	35

▪ Série Sggmrss



Figura 93. Vagão da Série Sggmrss (CP Carga,2014)

Tabela 95. Dados sobre o vagão Série Sggmrss

Material de transporte	Transporte de contentores e caixas móveis
Ano de construção	1993-2000
Velocidade máxima (km/h)	120
Carga máxima (Kg)	102.500
Volume útil (m ³)	-

▪ Série Ekkls



Figura 94. Vagão da Série Ekkls (CP Carga,2014)

Tabela 96. Dados sobre o vagão Série Ekkls

Material de transporte	Bordas altas
Ano de construção	1969
Velocidade máxima (km/h)	100
Carga máxima (Kg)	24.100
Volume útil (m ³)	24

▪ Série Ealos



Figura 95. Vagão da Série Ealos (CP Carga,2014)

Tabela 97. Dados sobre o vagão Série Ealos

Material de transporte	Bordas altas
Ano de construção	1976
Velocidade máxima (km/h)	100
Carga máxima (Kg)	56200
Volume útil (m ³)	72

- Série Falls



Figura 96. Vagão da Série Falls (CP Carga,2014)

Tabela 98. Dados sobre o vagão Série Falls

Material de transporte	Vagão tremonha para transporte de inertes
Ano de construção	1997
Velocidade máxima (km/h)	120
Carga máxima (Kg)	65.600
Volume útil (m ³)	47

- Série Facs



Figura 97. Vagão da Série Facs (CP Carga,2014)

Tabela 99. Dados sobre o vagão Série Facs

Material de transporte	Vagão tremonha para transporte de minério
Ano de construção	1972
Velocidade máxima (km/h)	90
Carga máxima (Kg)	59.400
Volume útil (m ³)	23

▪ Série Zaes



Figura 98. Vagão da Série Zaes (CP Carga,2014)

Tabela 100. Dados sobre o vagão Série Zaes

Material de transporte	Cisterna para transporte de <i>biodiesel</i>
Ano de construção	1980
Velocidade máxima (km/h)	120
Carga máxima (Kg)	57.100
Capacidade (L)	64.600

▪ Série Us



Figura 99. Vagão da Série Us (CP Carga,2014)

Tabela 101. Dados sobre o vagão Série Us

Material de transporte	Transporte de balastro
Ano de construção	1972 ; 1980 ; 1988
Velocidade máxima (km/h)	100
Carga máxima (Kg)	58.900 ; 59.200 ; 58.400
Volume útil (m ³)	40

- Série Uaoos



Figura 100. Vagão da Série Uaoos (CP Carga, 2014)

Tabela 102. Dados sobre o vagão Série Uaoos

Material de transporte	Tremonha para transporte de carvão
Ano de construção	1992 ; 1995
Velocidade máxima (km/h)	120
Carga máxima (Kg)	51.400
Volume útil (m ³)	80

Anexo – C

**Tabelas dos horários de comboios entre Aveiro e Porto -
Campanhã**

Tabela 104. Horário de comboios no sentido Porto (Campanhã) - Aveiro

		Sentido Porto-Aveiro																																
		Gala (Gen. Torres)		Gala (Devesas)		Valadares		Granja		Espinho		Esmoriz		Ovar		Est. Amónico		Estarreja		Cacia		Plat. Cacia		Aveiro		Nº	Tipo	Hora						
Km		336,079	336,079	333,342	333,342	332,239	332,239	327,8	327,8	320,394	320,394	316,79	316,792	311,9	311,9	300,776	300,776	290,190	290,19	287,421	287,421	278,718	278,718	276,249	276,249				272,676	272,676				
Urb	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Chegada	Partida								
C		0:04	0:07	0:08		0:09	0:10	0:16	0:17	0:26	0:27	0:30	0:31	0:37	0:38	0:47	0:48			0:58	0:59	1:07	1:08			1:13		1	U	0	U0			
C																				1:00	1:04	1:04	1:05	1:05		1:07	1:07	2	C	0	C1			
Urb	0:59	1:02	1:03	1:04	1:05		1:11	1:12		1:21	1:22	1:25	1:26		1:32	1:33		1:42	1:43		1:53	1:54	2:02	2:03		2:08		4	U	0	U0			
C					1:45					1:53	1:53	1:56	1:56			2:08	2:08	2:16	2:16	2:18	2:18	2:24	2:24	2:26	2:26		2:29	02:29	5	C	1	C1		
C					1:50					1:57	1:57	2:00	2:00			2:10	2:10	2:17	2:17	2:19	2:19	2:25	2:25	2:27	2:27		2:29	02:29	6	C	1	C1		
C																											3:25	4:55	4:58	04:58	7	C	3	C3
C					3:40					3:48	3:48	3:51	3:51			4:03	4:03	4:11	4:11	4:13	4:13	4:19	4:19	4:21	4:21	4:24	04:24	8	C	3	C3			
C	4:45	4:45		4:49	4:49					5:01	5:01	5:05	5:05			5:21	5:21	5:32	5:32	5:35	5:35	5:44	5:44	5:47	5:47		5:51	05:51	9	C	4	C4		
Urb	5:09	5:12	5:13	5:14	5:15		5:21	5:22		5:31	5:32	5:35	5:36		5:42	5:43		5:52	5:53		6:03	6:04	6:09	6:10		6:15		10	U	0	U0			
Alfa	5:47			5:50	5:52					5:57	5:57	5:59	5:59			6:07	6:07			6:13	6:13					6:21		11	A	5	A5			
C	5:50			5:53	5:53					6:02	6:02	6:05	6:05			6:17	6:17	6:25	6:25	6:28	6:28	6:34	6:34	6:36	6:36		6:39	06:39	12	C	5	C5		
C																											6:30	7:35	7:38	07:38	13	C	6	C6
C	6:07	6:07		6:11	6:11					6:21	6:21	6:24	6:24			6:39	6:39	6:48	6:48	6:50	6:50	6:58	6:58	7:00	7:00		7:04	07:04	14	C	6	C6		
Urb	6:14	6:18	6:19	6:20	6:21		6:24	6:25		6:29	6:30	6:33	6:34		6:37	6:38	6:46	6:47		6:57	6:58	7:06	7:07			7:12		15	U	6	U6			
Urb	6:19	6:23	6:24	6:25	6:26		6:31	6:32		6:41	6:42	6:45	6:46		6:52	6:53	7:04										16	U	6	U6				
Alfa	6:47			6:50	6:52					6:57	6:57	6:59	6:59			7:07	7:07			7:13	7:13					7:21		17	A	6	A6			
IC	6:52			6:55	6:57					7:03	7:03	7:05	7:07			7:14	7:14			7:20	7:22					7:31		18	I	6	I6			
Urb	6:55	6:59	7:00	7:01	7:02		7:05	7:06		7:09	7:09	7:12	7:13		7:16	7:17	7:23	7:24		7:33	7:34	7:38	7:39			7:44		19	U	6	U6			
Urb	7:00	7:03	7:04	7:05	7:06		7:12	7:13		7:22	7:23	7:25	7:26		7:32	7:33	7:42										20	U	7	U7				
C																						7:55	7:57	7:57		8:00	08:00	21	C	7	C7			
Urb	7:14	7:18	7:19	7:20	7:21		7:24	7:25		7:29	7:30	7:33	7:34		7:37	7:38	7:46	7:47		7:57	7:58	8:06	8:07			8:12		22	U	7	U7			
Urb	7:19	7:23	7:24	7:25	7:26		7:31	7:32		7:41	7:42	7:45	7:46		7:52	7:53	8:04										23	U	7	U7				
Urb	7:30	7:33	7:34	7:35	7:36		7:41	7:42		7:51																	24	U	7	U7				
Alfa	7:45			7:48	7:50					7:56	7:56	7:58	8:00			8:07	8:07			8:13	8:13					8:21		25	A	7	A7			
Urb	7:55	7:59	8:00	8:01	8:02		8:05	8:06		8:09	8:09	8:12	8:13		8:16	8:17	8:23	8:24		8:33	8:34	8:38	8:39			8:44		26	U	7	U7			
Urb	8:00	8:03	8:04	8:05	8:06		8:12	8:13		8:22	8:23	8:25	8:26		8:32	8:33	8:42										27	U	8	U8				
C																									09:00	09:06	09:06	28	C	9	C9			
Urb	8:14	8:18	8:19	8:20	8:21		8:24	8:25		8:29	8:30	8:33	8:34		8:37	8:38	8:46	8:47		8:57	8:58	9:06	9:07			9:12		29	U	8	U8			
Urb	8:19	8:23	8:24	8:25	8:26		8:31	8:32		8:41	8:42	8:45	8:46		8:52	8:53	9:04										30	U	8	U8				
Urb	8:30	8:33	8:34	8:35	8:36		8:41	8:42		8:51																	31	U	8	U8				
IC	8:52			8:55	8:57					9:03	9:03	9:06	9:08			9:15	9:17			9:24	9:24					9:32		32	I	8	I8			
Urb	8:55	8:59	9:00	9:01	9:02		9:05	9:06		9:09	9:09	9:12	9:13		9:16	9:17	9:23	9:24		9:33	9:34	9:38	9:39			9:44		33	U	8	U8			
Urb	9:00	9:03	9:04	9:05	9:06		9:12	9:13		9:22	9:23	9:25	9:26		9:32	9:33	9:42										34	U	9	U9				
Urb	9:14	9:18	9:19	9:20	9:21		9:24	9:25		9:29	9:30	9:33	9:34		9:37	9:38	9:46	9:47		9:57	9:58	10:06	10:07			10:12		35	U	9	U9			
Alfa	9:47			9:50	9:52					9:57	9:57	9:59	9:59			10:07	10:07			10:13	10:13					10:21		36	A	9	A9			
Urb	9:55	9:59	10:00	10:01	10:02		10:05	10:06		10:09	10:09	10:12	10:13		10:16	10:17	10:23	10:24		10:33	10:34	10:38	10:39			10:44		37	U	9	U9			
Urb	10:00	10:03	10:04	10:05	10:06		10:12	10:13		10:22	10:23	10:25	10:26		10:32	10:33	10:42										38	U	10	U10				
Urb	10:14	10:18	10:19	10:20	10:21		10:24	10:25		10:29	10:30	10:33	10:34		10:37	10:38	10:46	10:47		10:57	10:58	11:06	11:07			11:12		39	U	10	U10			
C																										10:55	11:15	11:18	11:18	40	C	10	C10	
IC	10:52			10:55	10:57					11:03	11:03	11:05	11:07			11:14	11:14			11:21	11:21					11:29		41	I	10	I10			
Urb	11:00	11:03	11:04	11:05	11:06		11:12	11:13		11:22	11:23	11:25	11:26		11:32	11:33	11:42										42	U	11	U11				
Urb	11:14	11:18	11:19	11:20	11:21		11:24	11:25		11:29	11:30	11:33	11:34		11:37	11:38	11:46	11:47		11:57	11:58	12:06	12:07			12:12		43	U	11	U11			
Alfa	11:47			11:50	11:52					11:57	11:57	11:59	11:59			12:07	12:07			12:13	12:13					12:21		44	A	11	A11			
Urb	12:00	12:03	12:04	12:05	12:06		12:12	12:13		12:22	12:23	12:25	12:26		12:32	12:33	12:42										45	U	12	U12				
Urb	12:14	12:18	12:19	12:20	12:21		12:24	12:25		12:29	12:30	12:33	12:34		12:37	12:38	12:46	12:47		12:57	12:58	13:06	13:07			13:12		46	U	12	U12			
Urb	12:19	12:23	12:24	12:25	12:26		12:31	12:32		12:41	12:42	12:45	12:46		12:52	12:53	13:04										47	U	12	U12				
Urb	12:30	12:33	12:34	12:35	12:36		12:41	12:42		12:53																	48	U	12	U12				
IC	12:52			12:55	12:57					13:03	13:03	13:05	13:07			13:15																		

Anexo – D
Linha do Vouga

Neste anexo encontram-se as tabelas e diagramas espaço-tempo referentes ao estudo de caso da Linha do Vouga.

Tabela 105. Horário de comboios entre Eixo e Eirol

Troço Eixo - Eirol						
Eixo		Eirol				
Km	27,8	23,7				
Tipo	Part/Cheg	Part/Cheg	Nº	Tipo	Hora	
REG	06:26	06:20	12	R	6	R6
REG	06:58	07:05	1	R	6	R6
REG	07:14	07:07	13	R	6	R6
REG	07:56	08:02	2	R	7	R7
REG	07:54	07:46	14	R	7	R7
REG	08:47	08:53	3	R	8	R8
REG	08:47	08:39	15	R	8	R8
REG	09:35	09:28	16	R	9	R9
REG	10:06	10:12	4	R	9	R9
REG	10:58	11:04	5	R	10	R10
REG	11:46	11:39	17	R	11	R11
REG	13:29	13:35	6	R	13	R13
REG	14:17	14:10	18	R	13	R13
REG	15:12	15:18	7	R	14	R14
REG	16:02	15:56	19	R	15	R15
REG	16:47	16:53	8	R	16	R16
REG	17:49	17:42	20	R	17	R17
REG	18:23	18:29	9	R	18	R18
REG	19:13	19:06	21	R	18	R18
REG	19:51	19:57	10	R	19	R19
REG	19:51	19:43	22	R	19	R19
REG	20:25	20:31	11	R	20	R20

Tabela 106. Compressão do horário entre Eixo e Eirol

Troço Eixo - Eirol (Compressão do horário)						
Eixo		Eirol				
Km	27,8	23,7				
Tipo	Part/Cheg	Part/Cheg	Nº	Tipo	Hora	
REG	06:26	06:20	12	R	6	R6
REG	06:27	06:34	1	R	6	R6
REG	06:42	06:35	13	R	6	R6
REG	06:43	06:49	2	R	7	R7
REG	06:58	06:50	14	R	7	R7
REG	06:59	07:05	3	R	8	R8
REG	07:14	07:06	15	R	8	R8
REG	07:14	07:07	16	R	9	R9
REG	07:15	07:21	4	R	9	R9
REG	07:16	07:22	5	R	10	R10
REG	07:30	07:23	17	R	11	R11
REG	07:31	07:37	6	R	13	R13
REG	07:45	07:38	18	R	13	R13
REG	07:46	07:52	7	R	14	R14
REG	07:59	07:53	19	R	15	R15
REG	08:00	08:06	8	R	16	R16
REG	08:14	08:07	20	R	17	R17
REG	08:15	08:21	9	R	18	R18
REG	08:29	08:22	21	R	18	R18
REG	08:30	08:36	10	R	19	R19
REG	08:45	08:37	22	R	19	R19
REG	08:46	08:52	11	R	20	R20

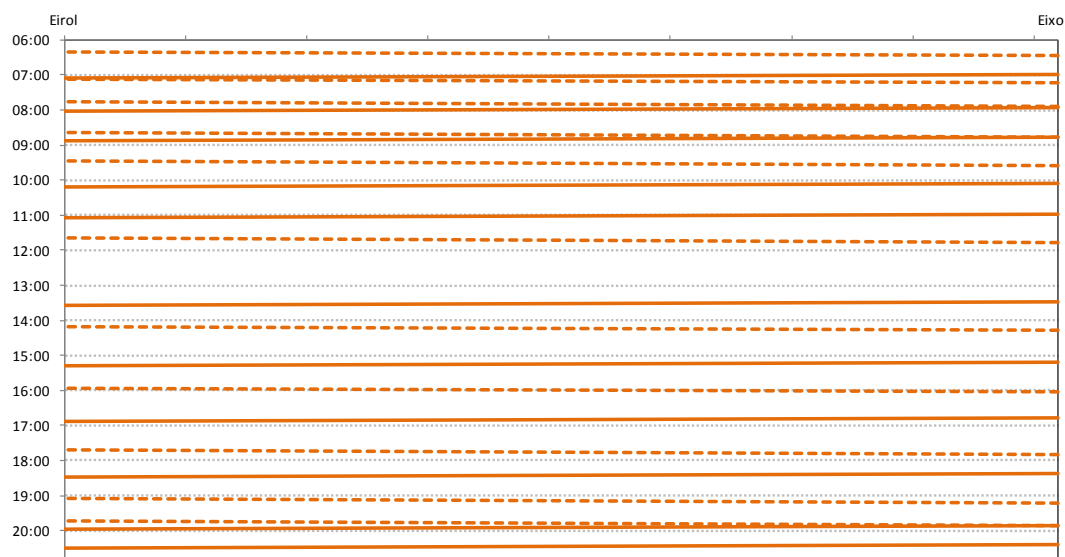


Figura 101. Diagrama espaço-tempo entre Eirol e Eixo

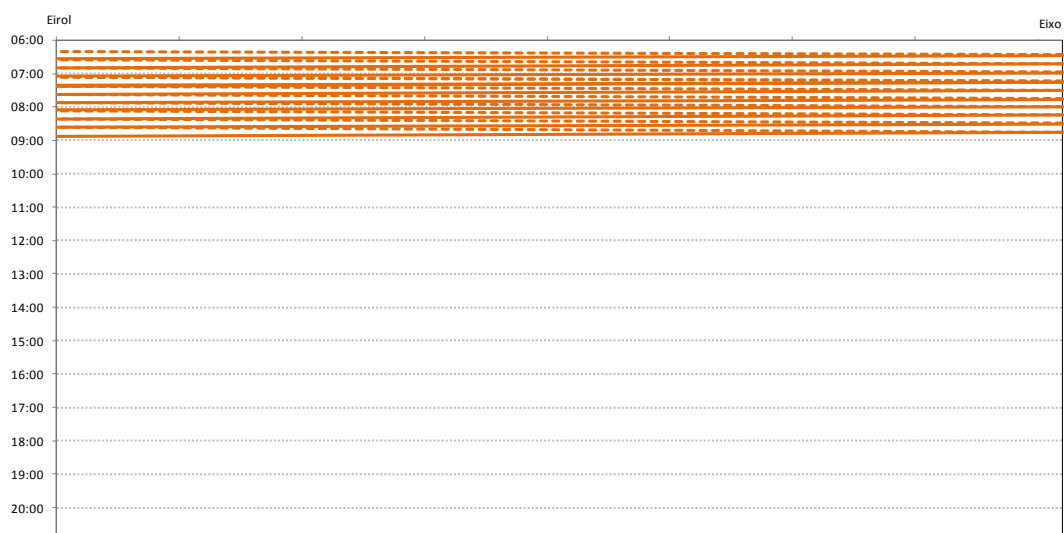


Figura 102. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Eirol e Eixo

Tabela 107. Cálculo da capacidade entre Eirol e Eixo

Janela de tempo (horas:minutos)	24:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	02:32
Fator de segurança (%)	30
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	03:17
Capacidade usada (%)	13,72

Tabela 108. Horário de comboios entre Eirol e Águeda

Troço Eirol - Águeda								
Eirol			Águeda					
Km	23,7	23,7	14,4	14,4				
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora	
REG		06:19	06:03		12	R	6	R6
REG		07:06	07:23		1	R	6	R6
REG		07:06	06:49		13	R	6	R6
REG		08:03	08:20		2	R	7	R7
REG		07:45	07:29		14	R	7	R7
REG		08:54	09:10		3	R	8	R8
REG		08:38	08:22		15	R	8	R8
REG		09:27	09:11		16	R	9	R9
REG		10:13	10:30		4	R	9	R9
REG		11:05	11:21		5	R	10	R10
REG		11:38	11:22		17	R	11	R11
REG		13:36	13:52		6	R	13	R13
REG		14:09	13:53		18	R	13	R13
REG		15:19	15:36		7	R	14	R14
REG		15:55	15:39		19	R	15	R15
REG		16:54	17:11		8	R	16	R16
REG		17:41	17:25		20	R	17	R17
REG		18:30	18:47		9	R	18	R18
REG		19:05	18:49		21	R	18	R18
REG		19:58	20:14		10	R	19	R19
REG		19:42	19:26		22	R	19	R19
REG		20:32	20:49		11	R	20	R20

Tabela 109. Compressão do horário entre Eirol e Águeda

Troço Eirol - Águeda (Compressão do horário)								
Eirol			Águeda					
Km	23,7	23,7	14,4	14,4				
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora	
REG		06:19	06:03		12	R	6	R6
REG		06:20	06:37		1	R	6	R6
REG		06:55	06:38		13	R	6	R6
REG		06:56	07:13		2	R	7	R7
REG		07:30	07:14		14	R	7	R7
REG		07:31	07:47		3	R	8	R8
REG		08:04	07:48		15	R	8	R8
REG		08:05	07:49		16	R	9	R9
REG		08:06	08:23		4	R	9	R9
REG		08:07	08:23		5	R	10	R10
REG		08:40	08:24		17	R	11	R11
REG		08:41	08:57		6	R	13	R13
REG		09:14	08:58		18	R	13	R13
REG		09:15	09:32		7	R	14	R14
REG		09:49	09:33		19	R	15	R15
REG		09:50	10:07		8	R	16	R16
REG		10:24	10:08		20	R	17	R17
REG		10:25	10:42		9	R	18	R18
REG		10:59	10:43		21	R	18	R18
REG		11:00	11:16		10	R	19	R19
REG		11:33	11:17		22	R	19	R19
REG		11:34	11:51		11	R	20	R20

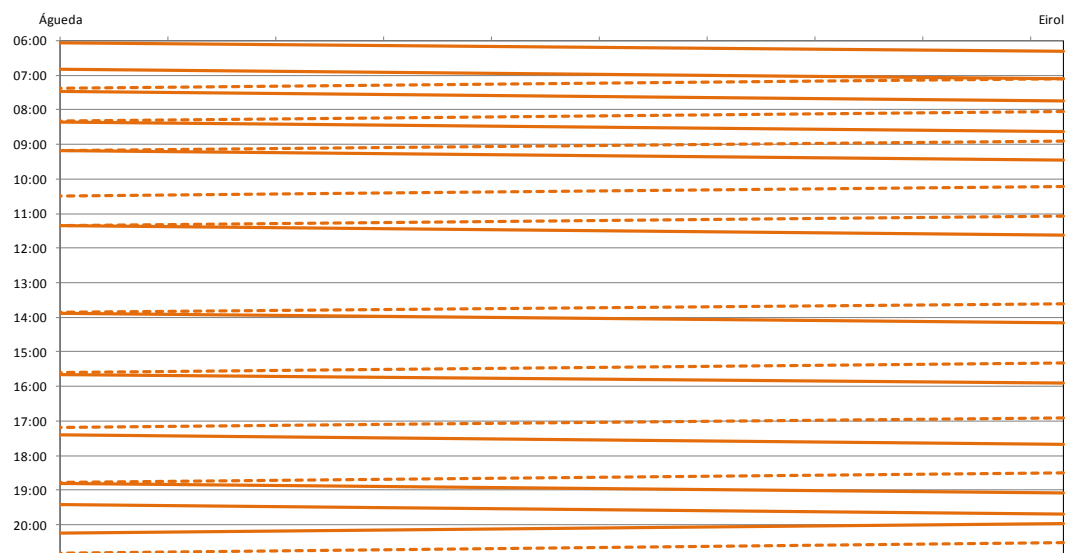


Figura 103. Diagrama espaço-tempo entre Águeda e Eirol

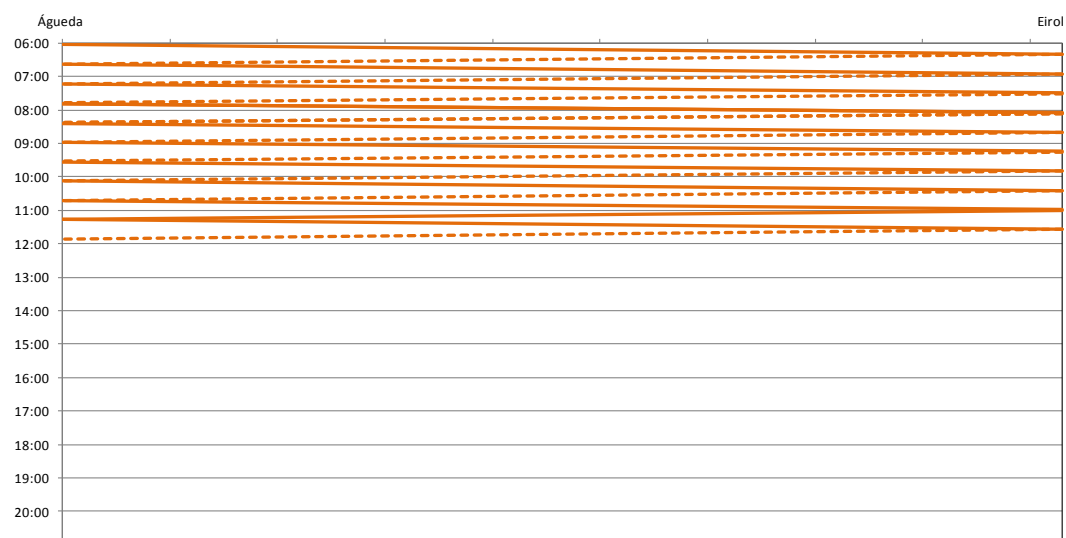


Figura 104. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Águeda e Eirol

Tabela 110. Cálculo da capacidade entre Águeda e Eirol

Janela de tempo (horas:minutos)	24:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	05:48
Fator de segurança (%)	30
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	07:32
Capacidade usada (%)	31,42

Tabela 111. Horário de comboios entre Macinhata e Sernada do Vouga

Troço Macinhata - Sernada do Vouga						
Macinhata			Sernada do Vouga			
Km	2,7	2,7	0	0		
Tipo	Part/Cheg		Part/Cheg	Nº	Tipo	Hora
REG	06:09		05:59	7	R	5 R5
REG	07:40		07:30	8	R	7 R7
REG	09:52		10:02	1	R	9 R9
REG	12:03		12:13	2	R	11 R11
REG	13:12		13:02	9	R	13 R13
REG	14:34		14:44	3	R	13 R13
REG	14:56		14:46	10	R	14 R14
REG	16:18		16:28	4	R	15 R15
REG	16:44		16:34	11	R	16 R16
REG	20:55		21:05	6	R	20 R20

Tabela 112. Compressão do horário entre Macinhata e Sernada do Vouga

Troço Macinhata - Sernada do Vouga (Compressão do horário)						
Macinhata			Sernada do Vouga			
Km	2,7	2,7	0	0		
Tipo	Part/Cheg		Part/Cheg	Nº	Tipo	Hora
REG	06:09		05:59	7	R	5 R5
REG	06:12		06:02	8	R	7 R7
REG	06:15		06:25	1	R	9 R9
REG	06:18		06:28	2	R	11 R11
REG	06:41		06:31	9	R	13 R13
REG	06:44		06:54	3	R	13 R13
REG	07:07		06:57	10	R	14 R14
REG	07:10		07:20	4	R	15 R15
REG	07:33		07:23	11	R	16 R16
REG	07:36		07:46	6	R	20 R20

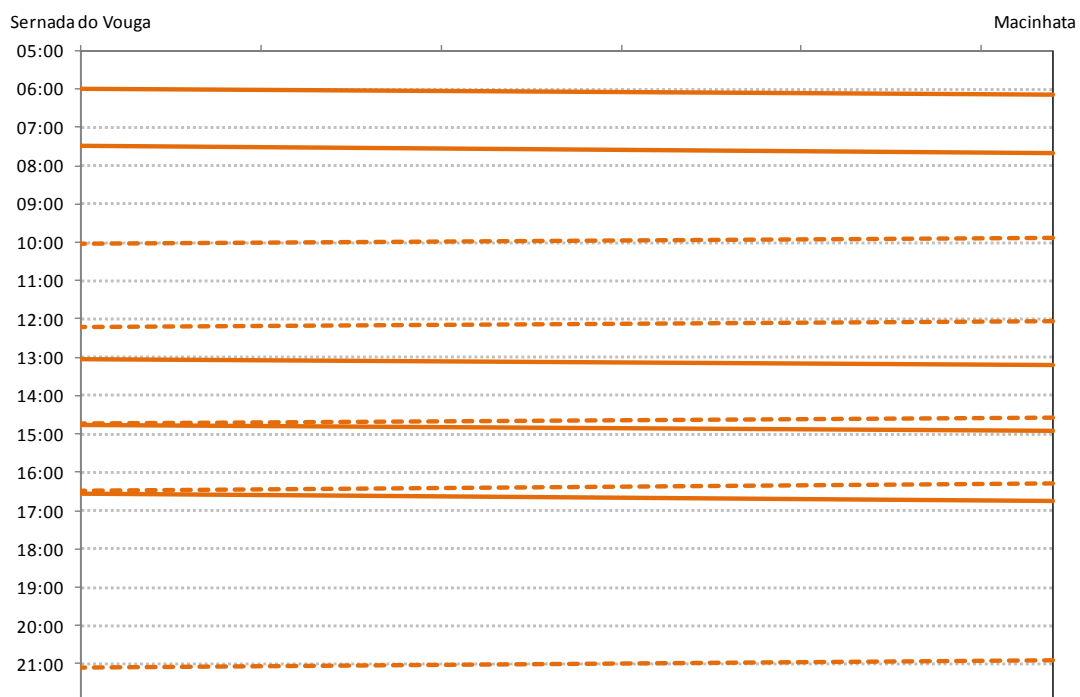


Figura 105. Diagrama espaço-tempo entre Sernada do Vouga e Macinhata

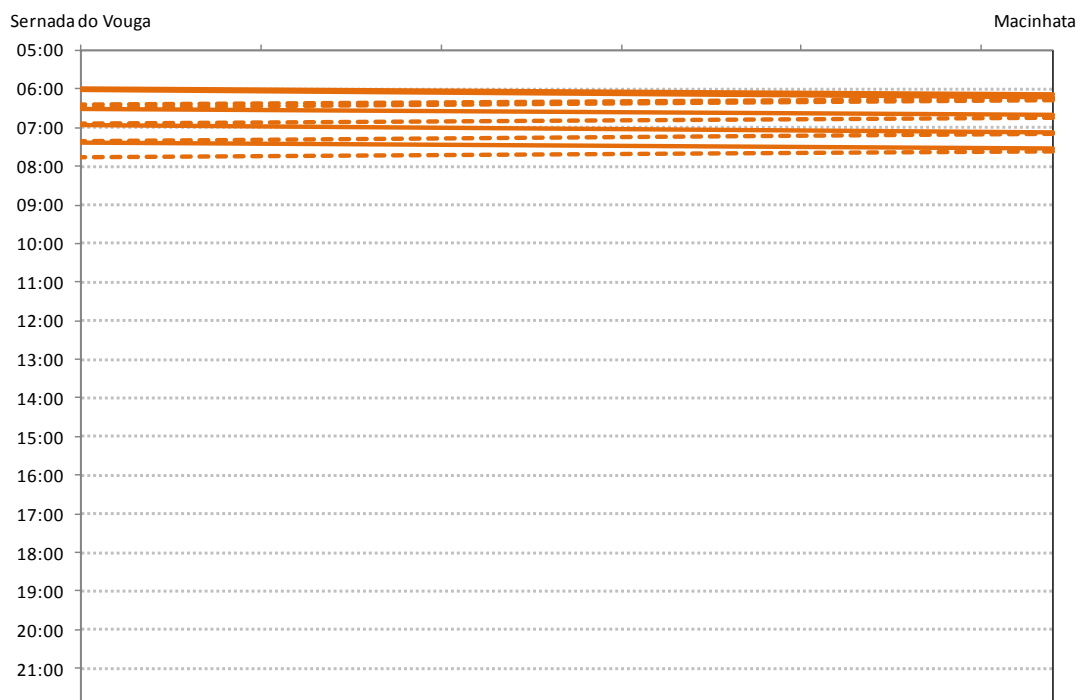


Figura 106. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Sernada do Vouga e Macinhata

Tabela 113. Cálculo da capacidade entre Sernada do Vouga e Macinhata

Janela de tempo (horas:minutos)	24:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	01:47
Fator de segurança (%)	30
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	02:19
Capacidade usada (%)	9,66

Tabela 114. Horário de comboios entre S. João da Madeira e Vila da Feira

Troço S. João da Madeira - Vila da Feira						
S. João da Madeira			Vila da Feira			
Km	24,867	24,867	19,502	19,502		
Tipo	Part/Cheg		Part/Cheg	Nº	Tipo	Hora
REG	07:29		07:18	9	R	6 R6
REG	07:31		07:41	1	R	7 R7
REG	08:31		08:41	2	R	8 R8
REG	09:31		09:21	10	R	8 R8
REG	10:13		10:02	11	R	9 R9
REG	10:15		10:25	3	R	9 R9
REG	11:55		11:45	12	R	11 R11
REG	12:35		12:45	4	R	12 R12
REG	14:15		14:05	13	R	13 R13
REG	14:55		15:05	5	R	14 R14
REG	16:14		16:25	6	R	15 R15
REG	16:37		16:27	14	R	15 R15
REG	17:55		17:45	15	R	17 R17
REG	18:39		18:49	7	R	18 R18
REG	20:19		20:09	16	R	19 R19
REG	20:59		21:09	8	R	20 R20

Tabela 115. Compressão do horário entre S. João da Madeira e Vila da Feira

Troço S. João da Madeira - Vila da Feira (Compressão do Horário)						
S. João da Madeira			Vila da Feira			
Km	24,867	24,867	19,502	19,502		
Tipo	Part/Cheg		Part/Cheg	Nº	Tipo	Hora
REG	07:29		07:18	9	R	6 R6
REG	07:32		07:42	1	R	7 R7
REG	07:35		07:45	2	R	8 R8
REG	07:58		07:48	10	R	8 R8
REG	08:02		07:51	11	R	9 R9
REG	08:05		08:15	3	R	9 R9
REG	08:28		08:18	12	R	11 R11
REG	08:31		08:41	4	R	12 R12
REG	08:54		08:44	13	R	13 R13
REG	08:57		09:07	5	R	14 R14
REG	09:00		09:11	6	R	15 R15
REG	09:24		09:14	14	R	15 R15
REG	09:27		09:17	15	R	17 R17
REG	09:30		09:40	7	R	18 R18
REG	09:53		09:43	16	R	19 R19
REG	09:56		10:06	8	R	20 R20

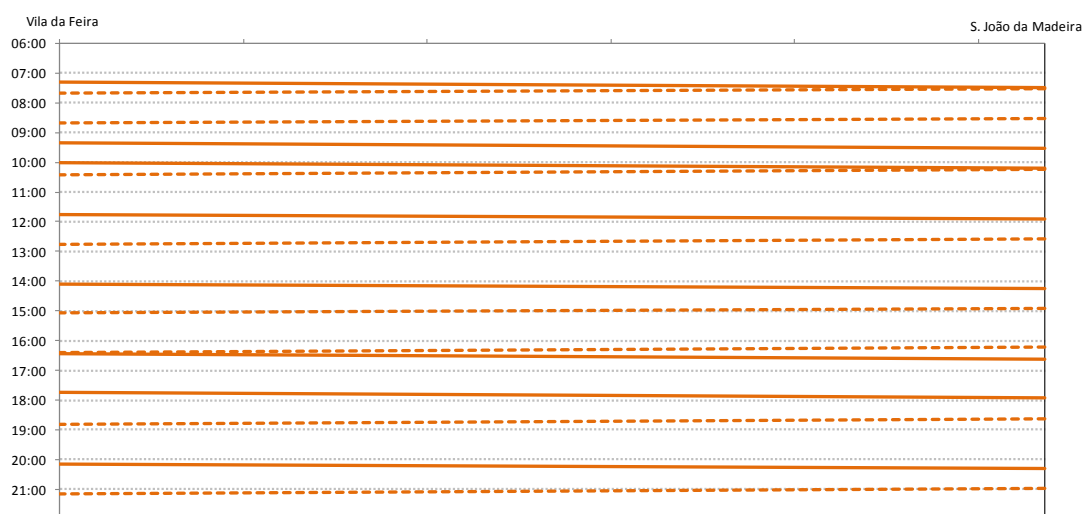


Figura 107. Diagrama espaço-tempo entre Vila da Feira e S. João da Madeira

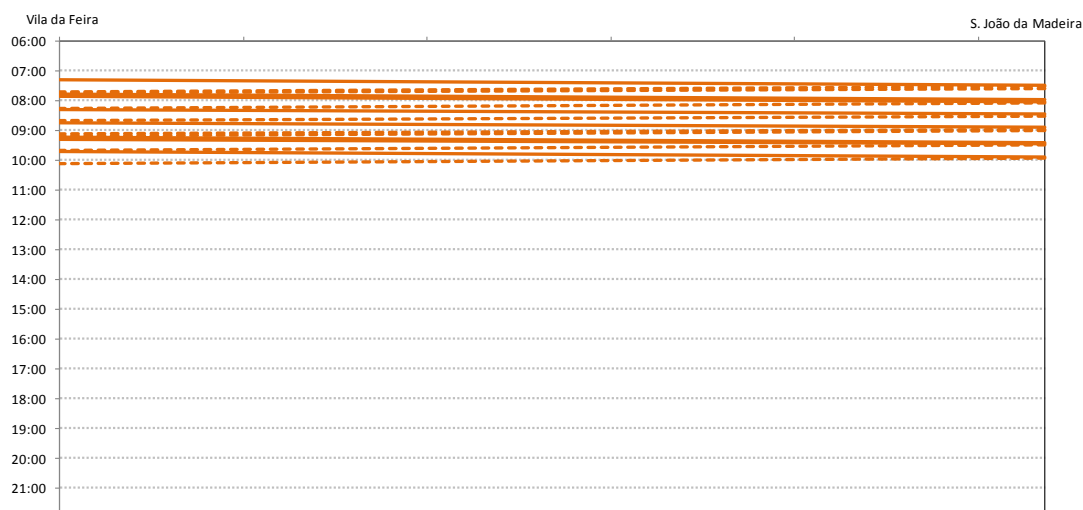


Figura 108. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Vila da Feira e S. João da Madeira

Tabela 116. Cálculo da capacidade entre Vila da Feira e S. João da Madeira

Janela de tempo (horas:minutos)	24:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	02:48
Fator de segurança (%)	30
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	03:38
Capacidade usada (%)	15,17

Tabela 117. Horário de comboios entre Vila da Feira e Paços de Brandão

Troço Vila da Feira - Paços de Brandão						
Vila da Feira			Paços de Brandão			
Km	19,502	19,502	9,042	9,042		
Tipo	Part/Cheg		Part/Cheg	Nº	Tipo	Hora
REG	07:17		06:59	9	R	6 R6
REG	07:42		08:01	1	R	7 R7
REG	08:42		09:02	2	R	8 R8
REG	09:20		09:02	10	R	8 R8
REG	10:01		09:42	11	R	9 R9
REG	10:26		10:44	3	R	9 R9
REG	11:44		11:26	12	R	11 R11
REG	12:46		13:05	4	R	12 R12
REG	14:04		13:46	13	R	13 R13
REG	15:06		15:25	5	R	14 R14
REG	16:26		16:06	14	R	15 R15
REG	16:26		16:44	6	R	15 R15
REG	17:44		17:26	15	R	17 R17
REG	18:50		19:09	7	R	18 R18
REG	20:08		19:50	16	R	19 R19
REG	21:10		21:29	8	R	20 R20

Tabela 118. Compressão do horário entre Vila da Feira e Paços de Brandão

Troço Vila da Feira - Paços de Brandão (Compressão do Horário)						
Vila da Feira			Paços de Brandão			
Km	19,502	19,502	9,042	9,042		
Tipo	Part/Cheg		Part/Cheg	Nº	Tipo	Hora
REG	07:17		06:59	9	R	6 R6
REG	07:20		07:39	1	R	7 R7
REG	07:23		07:43	2	R	8 R8
REG	08:04		07:46	10	R	8 R8
REG	08:08		07:49	11	R	9 R9
REG	08:11		08:29	3	R	9 R9
REG	08:50		08:32	12	R	11 R11
REG	08:53		09:12	4	R	12 R12
REG	09:33		09:15	13	R	13 R13
REG	09:36		09:55	5	R	14 R14
REG	10:18		09:58	14	R	15 R15
REG	10:21		10:39	6	R	15 R15
REG	11:00		10:42	15	R	17 R17
REG	11:03		11:22	7	R	18 R18
REG	11:43		11:25	16	R	19 R19
REG	11:46		12:05	8	R	20 R20

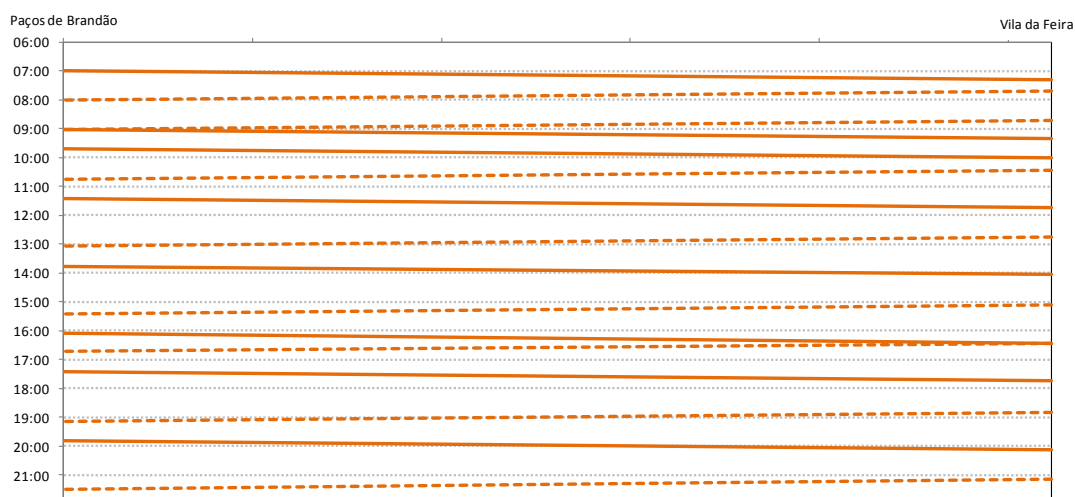


Figura 109. Diagrama espaço-tempo entre Paços de Brandão e Vila da Feira

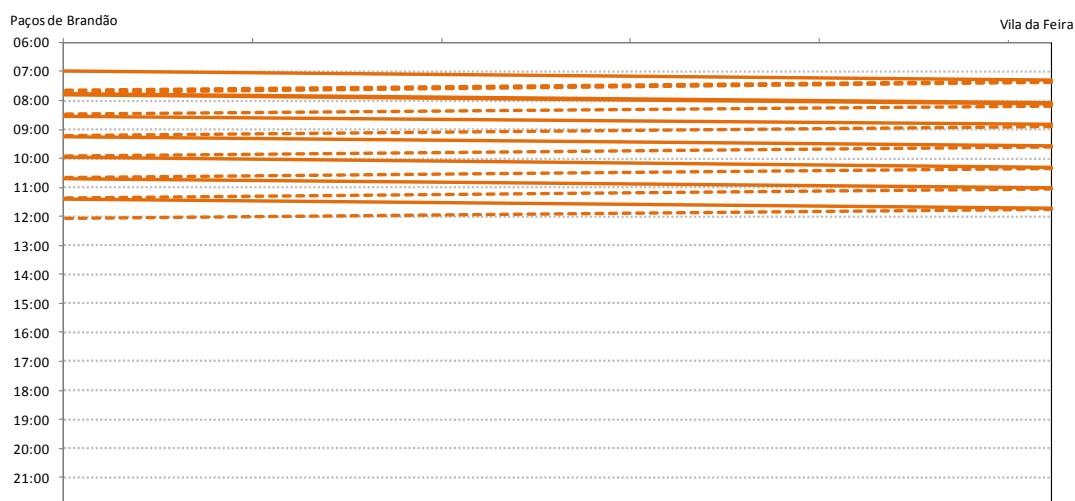


Figura 110. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Paços de Brandão e Vila da Feira

Tabela 119. Cálculo da capacidade entre Paços de Brandão e Vila da Feira

Janela de tempo (horas:minutos)	24:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	05:06
Fator de segurança (%)	30
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	06:37
Capacidade usada (%)	27,63

Tabela 120. Horário de comboios entre Paços de Brandão e Espinho (Vouga)

Troço Paços de Brandão - Espinho (Vouga)								
Paços de Brandão			Espinho (Vouga)					
Km	9,042	9,042	0,694	0,694				
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora	
REG		06:58	06:43		9	R	6	R6
REG		08:02	08:18		1	R	7	R7
REG		09:01	08:45		10	R	8	R8
REG		09:03	09:19		2	R	8	R8
REG		09:41	09:26		11	R	9	R9
REG		10:45	11:01		3	R	9	R9
REG		11:25	11:10		12	R	11	R11
REG		13:06	13:22		4	R	12	R12
REG		13:45	13:30		13	R	13	R13
REG		15:26	15:42		5	R	14	R14
REG		16:05	15:50		14	R	15	R15
REG		16:45	17:01		6	R	15	R15
REG		17:25	17:10		15	R	17	R17
REG		19:10	19:26		7	R	18	R18
REG		19:49	19:34		16	R	19	R19
REG		21:30	21:46		8	R	20	R20

Tabela 121. Compressão do horário entre Paços de Brandão e Espinho (Vouga)

Troço Paços de Brandão - Espinho (Vouga) (Compressão do Horário)								
Paços de Brandão			Espinho (Vouga)					
Km	9,042	9,042	0,694	0,694				
Tipo	Chegada	Partida	Chegada	Partida	Nº	Tipo	Hora	
REG		06:58	06:43		9	R	6	R6
REG		07:01	06:46		1	R	7	R7
REG		07:04	07:20		10	R	8	R8
REG		07:39	07:23		2	R	8	R8
REG		07:42	07:58		11	R	9	R9
REG		08:16	08:01		3	R	9	R9
REG		08:19	08:35		12	R	11	R11
REG		08:53	08:38		4	R	12	R12
REG		08:56	09:12		13	R	13	R13
REG		09:30	09:15		5	R	14	R14
REG		09:33	09:49		14	R	15	R15
REG		10:07	09:52		6	R	15	R15
REG		10:10	10:26		15	R	17	R17
REG		10:44	10:29		7	R	18	R18
REG		10:47	11:03		16	R	19	R19
REG		11:21	11:06		8	R	20	R20

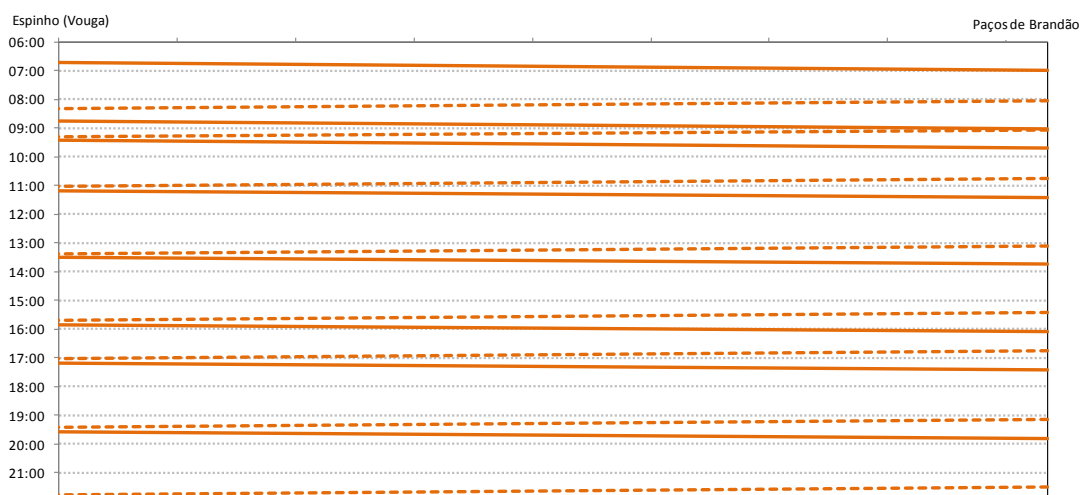


Figura 111. Diagrama espaço-tempo entre Espinho (Vouga) e Paços de Brandão

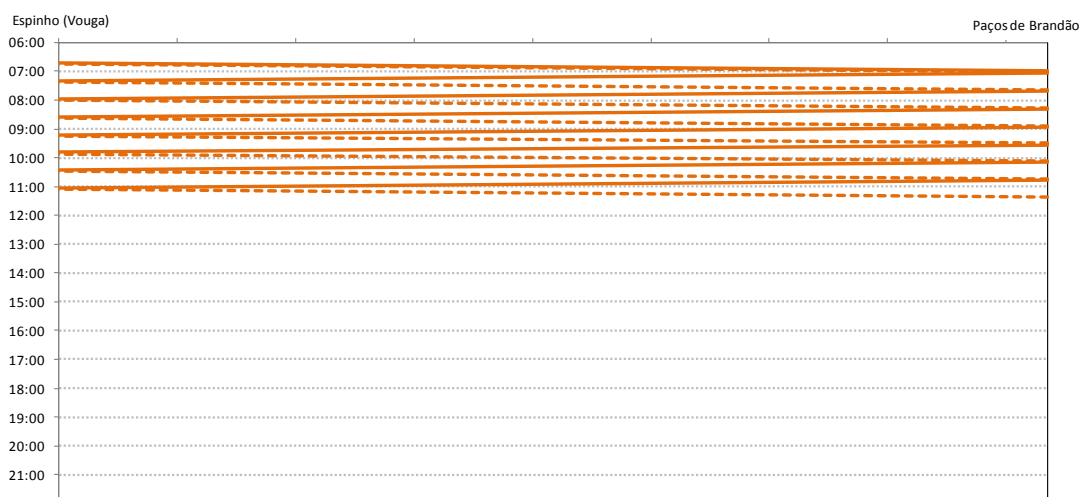


Figura 112. Diagrama espaço-tempo com horário comprimido entre Espinho (Vouga) e Paços de Brandão

Tabela 122. Cálculo da capacidade entre Espinho (Vouga) e Paços de Brandão

Janela de tempo (horas:minutos)	24:00
Tempo após compressão (horas:minutos)	04:38
Fator de segurança (%)	30
Tempo + Fator de segurança (horas:minutos)	06:01
Capacidade usada (%)	25,10